

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA
PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO DE COMPONENTES DE UN
VEHÍCULO FERROVIARIO PARA EL
CONTROL Y MANTENIMIENTO DE VÍAS**

Autor: D. Víctor Manuel García Molina
Tutora: Dra. D^a. M^a Jesús López Boada

Febrero 2012

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dedicar este proyecto a todas las personas que confiaron, confían y confiarán en mí mostrándome su apoyo por encima de todo.

A María Jesús por su paciencia y dedicación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO | 12 |
| 1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA | 12 |
| 1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO | 13 |
| 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA DRESINA | 15 |
| 2.1. ESTADO DEL ARTE | 16 |
| 2.1.1. LIMITACIONES TÉCNICAS DEL ESTADO ACTUAL | 18 |
| 2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL | 20 |
| 2.3. COMPONENTES | 22 |
| 2.3.1. INTRODUCCIÓN | 22 |
| 2.3.2. ZONA EXTERIOR | 23 |
| 2.3.2.1. Bastidor | 23 |
| 2.3.2.2. Cabina | 24 |
| 2.3.2.3. Caja de carga | 24 |
| 2.3.3. MOTORIZACIÓN | 25 |
| 2.3.3.1. Motor diesel | 25 |
| 2.3.3.2. Transmisión hidrostática | 26 |
| 2.3.4. EQUIPO NEUMÁTICO DE FRENO | 27 |
| 2.3.4.1. Freno directo | 27 |
| 2.3.4.2. Freno indirecto | 28 |
| 2.3.4.3. Freno de servicio | 28 |
| 2.3.4.4. Freno de estacionamiento | 28 |
| 2.3.4.5. Freno de emergencia | 28 |
| 2.3.4.6. Timonería de freno | 28 |
| 2.3.5. ELEMENTOS DE RODADURA | 29 |
| 2.3.5.1. Ejes | 29 |
| 2.3.5.2. Ruedas | 30 |
| 2.3.5.3. Cajas de grasa | 30 |
| 2.3.5.4. Suspensión | 31 |
| 2.3.5.5. Sistema de arenado | 32 |
| 2.3.6. GRÚA | 32 |
| 2.3.7. CASTILLETE | 32 |
| 2.3.8. PANTÓGRAFO | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3.9. EQUIPOS DE SEGURIDAD..... | 34 |
| 2.3.9.1. Parada de emergencia | 34 |
| 2.3.9.2. Hombre muerto..... | 34 |
| 3. PROYECTO REAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO | 35 |
| 3.1. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN | 35 |
| 3.1.1. RESUMEN | 35 |
| 3.1.2. OBJETIVOS..... | 37 |
| 3.1.3. AVANCES CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS | 39 |
| 3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE TRABAJO | 40 |
| 3.2.1. FASE I: PLANIFICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO..... | 43 |
| 3.2.2. FASE II: DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO | 43 |
| 3.2.2.1. Diseño básico | 44 |
| 3.2.2.2. Diseño de detalle | 45 |
| 3.2.2.2.1. Conjunto dresina..... | 46 |
| 3.2.2.2.2. Cabina | 46 |
| 3.2.2.2.3. Conjunto sistema de rodadura..... | 47 |
| 3.2.2.2.4. Castillete | 47 |
| 3.2.2.2.5. Timonería de freno | 49 |
| 3.2.2.2.6. Transmisión hidrostática | 50 |
| 3.2.2.2.7. Motor | 51 |
| 3.2.2.3. Desarrollo del prototipo | 52 |
| 3.2.2.3.1. Situación inicial | 52 |
| 3.2.2.3.2. Situación final | 52 |
| 3.2.2.3.3. Distribución en planta | 53 |
| 3.2.2.3.4. Áreas de montaje..... | 53 |
| 3.2.2.3.5. Resultados del proceso de montaje..... | 69 |
| 3.2.3. FASE III: PRUEBAS Y ENSAYOS. VALIDACIÓN FINAL..... | 70 |
| 3.2.2. FASE IV: ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LOS RESULTADOS | 72 |
| 4. CÁLCULOS DE DISEÑO DE COMPONENTES..... | 73 |
| 4.1. BASTIDOR | 74 |
| 4.1.1. INTRODUCCIÓN | 74 |
| 4.1.2. DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO | 74 |
| 4.1.2.1. Materiales | 74 |
| 4.1.2.2. Mallado | 75 |
| 4.1.2.3. Restricciones | 76 |
| 4.1.2.4. Método de cálculo | 76 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.3. CÁLCULOS | 76 |
| 4.1.3.1. Modo de trabajo | 77 |
| 4.1.3.2. Compresión del bastidor sobre topes | 79 |
| 4.1.3.3. Tracción sobre gancho | 81 |
| 4.1.3.4. Izado exterior | 83 |
| 4.1.3.5. Placas de izaje | 85 |
| 4.1.3.6. Rigidez torsional..... | 85 |
| 4.1.4. PLANOS DE DISEÑO..... | 87 |
| 4.2. RUEDAS | 88 |
| 4.2.1. INTRODUCCIÓN | 88 |
| 4.2.2. DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO..... | 88 |
| 4.2.2.1. Generalidades..... | 88 |
| 4.2.2.2. Estados de carga..... | 89 |
| 4.2.3. CÁLCULOS | 89 |
| 4.2.3.1. Estudio contacto rueda-carril..... | 89 |
| 4.2.3.2. Esfuerzos de calado | 91 |
| 4.2.3.3. Par motor | 93 |
| 4.2.3.4. Circulación en recta | 94 |
| 4.2.3.5. Circulación en curva | 95 |
| 4.2.3.6. Paso por cruces..... | 96 |
| 4.2.3.7. Frenada de zapatas sobre banda de rodadura | 98 |
| 4.3. EJES | 99 |
| 4.3.1. INTRODUCCIÓN | 99 |
| 4.3.2. DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO..... | 101 |
| 4.3.2.1. Generalidades..... | 101 |
| 4.3.2.2. Fuerzas y momentos a tener en cuenta..... | 101 |
| 4.3.2.2.1. Tipos de fuerzas | 101 |
| 4.3.2.2.2. Efectos debidos a las masas en movimiento | 101 |
| 4.3.2.2.3. Efectos debidos al frenado | 103 |
| 4.3.2.2.4. Efectos debidos a la tracción..... | 105 |
| 4.3.2.2.5. Cálculo del momento resultante | 106 |
| 4.3.2.3. Determinación de las características geométricas del eje | 107 |
| 4.3.2.4. Esfuerzos máximos admisibles | 108 |
| 4.3.2.5. Características especiales ejes de acero EA1T y EA4T | 109 |
| 4.3.3. CÁLCULOS | 110 |
| 4.3.3.1. Datos de partida | 110 |
| 4.3.3.2. Efectos debidos a masas en movimiento..... | 111 |
| 4.3.3.3. Efectos debidos al frenado..... | 112 |
| 4.3.3.4. Efectos debidos a la tracción | 112 |



| | |
|---|-----|
| 4.3.3.5. Diámetros de cálculo | 113 |
| 4.3.3.6. Esfuerzos resultantes | 114 |
| 4.3.3.6.1. Esfuerzos sección 1..... | 115 |
| 4.3.3.6.2. Esfuerzos sección 2..... | 115 |
| 4.3.3.6.3. Esfuerzos sección 3..... | 116 |
| 4.3.3.6.4. Esfuerzos sección 4..... | 117 |
| 4.3.3.6.5. Esfuerzos sección 5..... | 117 |
| 4.3.3.6.6. Esfuerzos sección 6..... | 118 |
| 4.3.3.6.7. Esfuerzos sección 7..... | 118 |
| 4.3.3.6.8. Esfuerzos sección 8..... | 119 |
| 4.3.3.6.9. Esfuerzos sección 9..... | 120 |
| 4.3.4. PLANOS DE DISEÑO..... | 121 |
| 5. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS | 122 |
| 5.1. CONCLUSIONES | 122 |
| 5.2. FUTUROS DESARROLLOS | 123 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 124 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Mapa de la red nacional de ferrocarril de alta velocidad | 16 |
| Figura 2.2. Vagoneta automotriz para trabajos de conservación de vía | 20 |
| Figura 2.3. Dresina automotriz para trabajos de auscultación de catenaria | 21 |
| Figura 2.4. Vagoneta automotriz para trabajos de auscultación y conservación vía estrecha ... | 21 |
| Figura 2.5. Vagoneta automotriz para trabajos de inspección de vía | 21 |
| Figura 2.6. Vagoneta automotriz para trabajos de inspección de catenaria | 22 |
| Figura 2.7. Bastidor de una dresina convencional | 23 |
| Figura 2.8. Detalle de cabina con dos puestos de conducción | 24 |
| Figura 2.9. Vista lateral de una caja de carga montada sobre una dresina..... | 25 |
| Figura 2.10. Vista lateral de una caja de carga montada sobre una dresina | 26 |
| Figura 2.11. Conjunto de timonería de freno independiente..... | 29 |
| Figura 2.12. Eje completo montado en una dresina..... | 29 |
| Figura 2.13. Caja de grasa montada sobre una dresina | 31 |
| Figura 2.14. Castillete de elevación | 33 |
| Figura 3.1. Vista general de los diseños previos de la dresina | 45 |
| Figura 3.2. Plano de detalle conjunto dresina | 46 |
| Figura 3.3. Plano de detalle cabina | 46 |
| Figura 3.4. Diseño final conjunto del sistema de rodadura dresina..... | 47 |
| Figura 3.5. Plano de detalle castillete | 48 |
| Figura 3.6. Vistas de conjunto timonería de freno..... | 49 |
| Figura 3.7. Conjunto transmisión hidrostática vehículo dresina | 50 |
| Figura 3.8. Plano de detalle del motor de una dresina..... | 51 |
| Figura 3.9. Lay-Out instalación de montaje..... | 53 |
| Figura 3.10. Área de almacenamiento | 54 |
| Figura 3.11. Área de soldadura y montaje de estructuras..... | 55 |
| Figura 3.12. Montaje de bastidor en taller | 56 |
| Figura 3.13. Montaje de engranajes del reductor..... | 57 |
| Figura 3.14. Montaje cajas de grasa en taller | 58 |
| Figura 3.15. Montaje de sistema de rodadura..... | 58 |
| Figura 3.16. Montaje de cabina sobre bastidor | 60 |
| Figura 3.17. Montaje hidráulico | 63 |
| Figura 3.18. Conjunto motor diesel dresina..... | 64 |
| Figura 3.19. Cableado eléctrico cabina..... | 66 |
| Figura 3.20. Cabina de pintura..... | 67 |
| Figura 3.21. Proceso pintado cabina dresina | 68 |
| Figura 3.22. Almacenamiento línea de montaje | 69 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.23. Montaje dresina completado | 71 |
| Figura 4.1. Modelo de cálculo del bastidor de una dresina | 74 |
| Figura 4.2. Simulación del mallado de la estructura del bastidor | 75 |
| Figura 4.3. Cargas soportadas por el bastidor en modo de trabajo | 76 |
| Figura 4.4. Vista superior estado de cargas en modo de trabajo | 77 |
| Figura 4.5. Vista lateras desplazamiento (flecha máxima) resultante en modo de trabajo..... | 78 |
| Figura 4.6. Vista superior desplazamiento (flecha máxima) resultante en modo de trabajo | 78 |
| Figura 4.7. Esfuerzos máximos resultantes en modo de trabajo..... | 79 |
| Figura 4.8. Cargas a compresión soportadas por el bastidor..... | 80 |
| Figura 4.9. Esfuerzos máximos resultantes a compresión..... | 80 |
| Figura 4.10. Representación esquemática de restricciones y fuerzas | 81 |
| Figura 4.11. Cargas a tracción soportadas por el bastidor..... | 81 |
| Figura 4.12. Esfuerzos máximos resultantes a tracción..... | 82 |
| Figura 4.13. Desplazamiento (flecha máxima) resultante a tracción..... | 82 |
| Figura 4.14. Ubicación de elementos de izaje sobre el bastidor de una dresina..... | 83 |
| Figura 4.15. Cargas aplicadas sobre el extremo del bastidor | 83 |
| Figura 4.16. Simulación de las reacciones aparecidas durante el izaje | 84 |
| Figura 4.17. Esfuerzos máximos resultantes durante el izaje | 84 |
| Figura 4.18. Desplazamiento (flecha máxima) resultante durante el izaje | 85 |
| Figura 4.19. Cargas a torsión soportadas por el bastidor..... | 86 |
| Figura 4.20. Esfuerzos máximos resultantes | 86 |
| Figura 4.21. Vista lateral plano de detalle bastidor | 87 |
| Figura 4.22. Vista superior plano de detalle bastidor | 87 |
| Figura 4.23. Vista frontal plano de detalle bastidor | 87 |
| Figura 4.24. Detalle mallado contacto rueda-carril | 90 |
| Figura 4.25. Detalle contacto rueda-carril | 91 |
| Figura 4.26. Detalle esfuerzos de rodadura rueda-carril | 91 |
| Figura 4.27. Detalle mallado contacto rueda-eje..... | 92 |
| Figura 4.28. Concentración de tensiones rueda-eje..... | 92 |
| Figura 4.29. Deformaciones máximas entre rueda y eje | 93 |
| Figura 4.30. Intensidad de tensiones | 94 |
| Figura 4.31. Concentración de tensiones para el estado de circulación en recto..... | 95 |
| Figura 4.32. Concentración de tensiones para el estado de circulación en curva..... | 96 |
| Figura 4.33. Concentración de tensiones durante paso por cruces y puntos..... | 97 |
| Figura 4.34. Esfuerzos producidos durante el frenado..... | 98 |
| Figura 4.35. Eje motor de una dresina | 99 |
| Figura 4.36. Ejes de simetría | 101 |
| Figura 4.37. Estado de cargas desfavorable sobre eje motor | 102 |
| Figura 4.38. Descomposición del momento en los ejes de simetría | 103 |
| Figura 4.39. Factor de concentración de esfuerzos de fatiga..... | 107 |



| | |
|---|-----|
| Figura 4.40. Factor de concentración de esfuerzos de fatiga en entalladuras o acanaladuras. | 108 |
| Figura 4.41. Geometría del eje motor de una dresina | 110 |
| Figura 4.42. Esquema general de las variaciones de M_x | 112 |
| Figura 4.43. Secciones críticas del eje diseñado | 114 |
| Figura 4.44. Plano de detalle sección eje | 121 |
| Figura 4.45. Vista lateral eje | 121 |
| Figura 4.46. Detalles vista eje | 121 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 2.1. Tipos y parámetros de medida de la auscultación ferroviaria | 17 |
| Tabla 3.1. Especificaciones técnicas dresina | 43 |
| Tabla 3.2. Especificaciones técnicas sistema de frenado..... | 49 |
| Tabla 3.3. Especificaciones técnicas transmisión dresina..... | 50 |
| Tabla 3.4. Especificaciones técnicas motor..... | 51 |
| Tabla 4.1. Principales características del mallado utilizado..... | 75 |
| Tabla 4.2. Nomenclatura unidades de cálculo | 100 |
| Tabla 4.3. Formulario cálculo de fuerzas..... | 102 |
| Tabla 4.4. Formulario cálculo de momentos..... | 103 |
| Tabla 4.5. Formulario cálculo de componentes momento según modalidad de frenado | 104 |
| Tabla 4.6. Valores del coeficiente de seguridad S..... | 109 |
| Tabla 4.7. Tensiones límite de fatiga para aceros EA1T y EA4T | 109 |

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el transporte ferroviario en España está en continua expansión debido a la aparición de la red de Alta Velocidad. La modernización de las infraestructuras de transporte ferroviario del país, así como, la inclusión de trenes de fabricación nacional y las constantes obras, han supuesto un importante impulso en la economía española.

El nivel de competitividad entre las empresas de este sector ha crecido considerablemente, hasta el punto de producirse un aumento de la inversión en investigación ferroviaria. Este hecho ha supuesto la proliferación de Proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D) dentro de las empresas que ocupan el sector ferroviario.

El presente Proyecto Fin de Carrera, “Diseño de componentes de un vehículo ferroviario de control y mantenimiento de vías.”, está enmarcado dentro de un Proyecto de Investigación y Desarrollo, “Diseño y desarrollo de una nueva maquinaria de control y mantenimiento de vías ferroviarias.”, llevado a cabo por la empresa Maquivías, S.A.



1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo del presente Proyecto Fin de Carrera es la aplicación de una metodología de cálculo en el diseño de componentes ferroviarios de un vehículo destinado al control y mantenimiento de vía férrea y catenaria.

El vehículo ferroviario, objeto de estudio, es una dresina de nueva generación desarrollada por la empresa Maquivías, S.A.

En este proyecto, se pretende dar a conocer la metodología de diseño empleada en las empresas tecnológicas del sector ferroviario para tres tipos de componentes: bastidor, rueda y eje motor.

Dado el auge que está teniendo el desarrollo de nuevas infraestructuras y sistemas de transporte (tren de alta velocidad, tranvías, metros urbanos, etc.), el diseño de componentes en el sector ferroviario debe permitir generar soluciones bajo los más altos requerimientos técnicos y de seguridad.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Maquivías, S.A., fundada en 1970 y perteneciente al Grupo Aldesa, es uno de los principales fabricantes nacionales de ingeniería, diseño y fabricación de maquinaria auxiliar para trabajos de montaje, renovación y/o conservación de vías de ferrocarril y línea de contacto aérea o catenaria [1].

Maquivías, S.A., fabrica una amplia gama de maquinaria portátil, así como maquinaria pesada y vehículos auxiliares para inspección y mantenimiento de vía y catenaria. Su fabricación se basa en una extensa gama de maquinaria de serie, así como el desarrollo de maquinaria especial que satisface las necesidades propias de cada cliente, para ello cuenta con un Departamento de Investigación más Desarrollo (I+D), e instalaciones propias de fabricación.

Los principales productos que la empresa Maquivías, S.A., desarrolla, se pueden agrupar en dos grandes bloques:

- **Maquinaria para trabajo en vía**

Incluye todo tipo de maquinaria para el montaje y mantenimiento de la vía como pueden ser los Pórticos Hidráulicos Gigantes, Posicionadoras de carril o máquinas ligeras como clavadoras, taladros de carril o grupos de bateo manuales.



- **Material rodante**

Incluye dresinas de vía y catenaria, transformación de vehículos vía - carretera, diversos tipos de vagones y vehículos especiales bajo las especificaciones de los clientes.

El proceso de producción es lo suficientemente flexible como para adaptarse a las necesidades del cliente y de la aplicación.

En 2007 Maquivías, S.A., obtuvo la homologación de centro reconocido de mantenimiento de material rodante ferroviario, como distribuidor y fabricante a nivel nacional, quedando inscrito en la sección octava del Registro Especial Ferroviario.

La experiencia de Maquivías, S.A., es amplia, destacando el suministro a los propietarios de infraestructura y a los grandes constructores relacionados con la vía:

- Adif
- Renfe
- Metro

Grandes constructoras (Ferrovial, Dragados, Vías y Construcciones, etc.)

1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Este Proyecto Fin de Carrera está estructurado en seis capítulos, siendo el primero de ellos la presente introducción.

En el capítulo segundo, DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA DRESINA, se describe en qué consiste una dresina ferroviaria. En primer lugar se expone el estado actual del arte, a posteriori, se realiza una descripción general del vehículo ferroviario junto con los principales componentes que lo constituyen.

En el capítulo tercero, FASES DE UN PROYECTO REAL DE INVESTIGACIÓN, se realiza una descripción de las fases reales del Proyecto de Investigación y Desarrollo donde se engloba este Proyecto Fin de Carrera.

En el capítulo cuarto, CÁLCULOS DE DISEÑO DE COMPONENTES, se detalla el método de cálculo que se ha llevado a cabo durante el diseño de tres componentes (bastidor, rueda y eje motor) de una dresina. En este capítulo se incluyen los cálculos y resultados obtenidos durante el proceso.



En el quinto capítulo, CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS, se exponen las conclusiones obtenidas del proceso de diseño de elementos de una dresina ferroviaria. A su vez, se proponen diferentes desarrollos que tengan como punto de partida los estudios realizados en este proyecto.

En el sexto capítulo, BIBLIOGRAFÍA, se citan distintos libros de referencia, páginas web visitadas, así como manuales y documentos que han sido consultados para realizar este proyecto.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA DRESINA. COMPONENTES

Como se ha comentado anteriormente, este Proyecto Fin de Carrera está englobado dentro de la fase de diseño de un Proyecto de Investigación y Desarrollo (I+D) denominado *“Diseño y desarrollo de una nueva maquinaria de control y mantenimiento de vías ferroviarias.”*, llevado a cabo por la empresa Maquivías.

En este segundo capítulo, se define en qué consiste una dresina de control y mantenimiento de vía ferroviaria. La finalidad de este capítulo es conocer el entorno de actuación donde está localizado el Proyecto Fin de Carrera.

A fin de conocer el tipo de maquinaria donde está enfocado el Proyecto Fin de Carrera, en primer lugar, se expone la situación actual del estado del arte, a posteriori, se realiza una descripción general de la dresina ferroviaria (definición, características técnicas, sector de actuación, etc.) junto con los principales componentes que constituyen este tipo de maquinaria.

2.1. ESTADO DEL ARTE

Después de casi dos siglos de existencia, el ferrocarril ha pasado por un periodo de vertiginosa expansión y afirmación como principal medio de transporte, tanto a nivel nacional como internacional, hasta una gradual pérdida de protagonismo que lo llevó incluso al borde de la desaparición, si no hubiese sido por su imbatible competitividad en segmentos concretos, como los núcleos urbanos o los corredores densamente poblados. En la actualidad, el ferrocarril ocupa un lugar modesto en el mercado del transporte.

No obstante, la introducción de los primeros servicios de Alta Velocidad hace ya casi cuarenta años supuso un revulsivo muy significativo en la forma de entender el ferrocarril: de condenado al fracaso, pasó a ser sinónimo de progreso y vanguardia tecnológica. El importante éxito alcanzado por la Alta Velocidad ferroviaria, dio en cierto modo el lema para lo que debe constituir la “tercera vía” del ferrocarril, aplicada a todos los servicios: innovación y calidad que se expresan en criterios como la seguridad, velocidad, puntualidad y confort entre otros.

Por ello, desde la aparición de la Alta Velocidad Española en 1992, la red ferroviaria de alta velocidad de España se ha visto incrementada notablemente con líneas en pleno funcionamiento y muchas otras en preparación o en proyecto. En la figura 2.1 se puede observar cómo se distribuye la red ferroviaria de alta velocidad en la península [2].



Figura 2.1. Mapa de la red nacional de ferrocarril de alta velocidad

Con la consecuente modernización de las infraestructuras de transporte del país, este proyecto a largo plazo consigue revitalizar numerosas zonas tradicionalmente apartadas. La inclusión de



trenes de fabricación nacional y las constantes obras, han supuesto un importante impulso en la economía española.

Actualmente, España es el país de Europa en el que mayor número de proyectos de nuevas líneas de Alta Velocidad se están llevando a cabo. Por lo tanto, un buen sistema de mantenimiento de las mismas, es indispensable tanto para su buen funcionamiento como para la optimización de recursos, lo que conlleva un ahorro de costes importante.

Los altos niveles de exigencia de los ferrocarriles modernos en seguridad, disponibilidad y confort, incompatibles con los métodos tradicionales de mantenimiento basados en inspecciones visuales de la vía, obligan a las administraciones ferroviarias a optar por el empleo de vehículos auscultadores o trenes laboratorio que automatizan el trabajo y permiten realizar un mantenimiento predictivo.

Estos vehículos tienen un papel decisivo en el mantenimiento óptimo de la vía, la catenaria y otros sistemas, como la señalización o las telecomunicaciones, frente a daños ocasionados por la circulación de trenes, variaciones de temperatura, etc. Pueden circular traccionados por una locomotora, acoplados a trenes que realizan servicios comerciales o autopropulsados.

En general se tiende a agrupar en un mismo vehículo los distintos sistemas de medición realizando las auscultaciones a velocidades de explotación, para interferir lo menos posible en la circulación logrando una toma de datos en condiciones similares a las del servicio comercial.

La auscultación puede ser geométrica o dinámica, de vía o de catenaria, con diferentes parámetros de medida como muestra la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Tipos y parámetros de medida de la auscultación ferroviaria

| TIPO | | PARÁMETROS DE MEDIDA |
|------------|-----------|--|
| GEOMÉTRICA | Vía | <ul style="list-style-type: none"> • Nivelación longitudinal y transversal. • Ancho de vía. • Alineación y alabeo de cada uno de los carriles. |
| | Catenaria | <ul style="list-style-type: none"> • Altura de contacto. • Descentramiento. • Pendiente del hilo. |
| DINÁMICA | Vía | <ul style="list-style-type: none"> • Interacción vehículo con la vía. <ul style="list-style-type: none"> ○ Aceleración horizontal. ○ Aceleración vertical. |
| | Catenaria | <ul style="list-style-type: none"> • Interacción del pantógrafo con la catenaria. <ul style="list-style-type: none"> ○ Fuerza de contacto. ○ Arcos eléctricos. |

Estas auscultaciones pueden completarse con video-inspecciones, medición de parámetros térmicos de la catenaria mediante sistemas de termografía, registro del desgaste del hilo de contacto e inspección ultrasónica de los carriles. Los operadores españoles cuentan con distintos vehículos para realizar las tareas de auscultación.

Actualmente, son varios los equipos que existen en el mercado, empleados para estas labores, siendo principalmente equipos para auscultación dinámica o geométrica de la vía y catenaria. A continuación, se indican algunos equipos utilizados en labores de mantenimiento:

- Tren auscultador (Adif): deriva del prototipo que Talgo empleó para el desarrollo de su tren de alta velocidad, con una velocidad máxima de 330 Km/h y una potencia cercana a los 4.000 kW. Está formado por un coche extremo con cabina de conducción, un coche extremo similar al turista, un coche intermedio, un coche extremo habilitado como coche laboratorio y una motriz que contiene la tracción.

Realiza la auscultación dinámica de vía y de catenaria de la red de alta velocidad y la auscultación del sistema de comunicaciones GSM-R.

- Coche de auscultación geométrica de vía (Adif): adaptación de un coche de la serie. Se emplea en la auscultación de la red ferroviaria, líneas convencionales y de alta velocidad. Puede llevar a cabo las tareas de registro a 200 Km/h acoplado a trenes convencionales o remolcado por una locomotora.
- Coche laboratorio (Renfe): se acopla en servicio comercial a los trenes entre la cabeza tractora y el coche extremo sin alterar el funcionamiento y las prestaciones del tren. Permite comprobar el comportamiento dinámico del tren, detectar la aparición de defectos en la vía y seguir su evolución y comprobar la correcta disposición de la catenaria.
- Dresinas de auscultación geométrica para control y mantenimiento de vía y catenaria:

2.1.1. LIMITACIONES TÉCNICAS DEL ESTADO ACTUAL

El creciente aumento de las infraestructuras ferroviarias, especialmente de Alta Velocidad, confieren cada vez mayor peso específico a los trabajos de mantenimiento, siendo estos últimos una cuestión de vital importancia para mantener su operatividad, alargar su vida útil y garantizar un nivel de seguridad óptimo que permita reducir la posibilidad de accidentes por anomalías en dichas infraestructuras.

La importancia estratégica de este tipo de infraestructuras requiere importantes inversiones en concepto de mantenimiento. Un conocimiento preciso del estado de las infraestructuras permitiría una planificación más eficaz de los trabajos de mantenimiento, con el consiguiente

ahorro en los costes y en el tiempo de ejecución. De esta forma, se conseguiría reducir el impacto que estas tareas de mantenimiento suelen tener en la operatividad de las vías, previniendo los defectos de las mismas y aumentando su vida de servicio a fin de amortizar al máximo las inversiones realizadas [3].

Por todo ello, es de vital necesidad e importancia realizar una conservación preventiva de las vías y catenarias para optimizar los recursos e inversiones, utilizando como herramienta principal la auscultación con equipos de alto rendimiento, lo que permite garantizar el seguimiento de los parámetros característicos. El principal objetivo es poder medir con suficiente precisión y con la menor ocupación de la vía durante la auscultación, proporcionando un elevado número de datos; así se puede aumentar el grado de confianza en la fiabilidad de los resultados.

Así mismo, las exigencias del mantenimiento de la infraestructura de la vía crecen constantemente, constituyendo un aspecto básico en la gestión empresarial de un ferrocarril moderno y eficiente, debiendo satisfacerse tres vertientes: condiciones de seguridad, regularidad y confort en el caso de pasajeros, conceptos que generan la necesidad de definir determinados parámetros y establecer umbrales que delimiten las intervenciones, minimizando los costos. En el análisis de los mismos, intervienen una importante cantidad de factores, algunos de los cuales provienen de exigencias técnicas y otros derivados de las limitaciones impuestas por la circulación.

Ante la falta de una conservación adecuada de la vía, en virtud de los elevados costos de la misma, se produce el acumulamiento progresivo de un importante déficit de mantenimiento, que se refleja en el estado de sus parámetros geométricos y en un acelerado desgaste de sus elementos constitutivos. Este déficit de mantenimiento, obliga en muchos casos a la implantación de sucesivas limitaciones a la velocidad de circulación de los trenes por cuestiones de seguridad, y a una disminución del confort en la rodadura. Mediante estas limitaciones de velocidad se adaptan las condiciones de circulación al estado de la vía; por ejemplo al disminuir la velocidad disminuyen también los efectos cinemáticos o aceleraciones percibidas por los pasajeros, se beneficia el confort y la seguridad, pero se afecta la regularidad del servicio ante la pérdida de tiempo introducida en la marcha de los trenes.

Por lo tanto, es imprescindible disponer de un buen sistema para la inspección y mantenimiento de todo tipo de vías ferroviarias, así como para su tendido eléctrico o catenaria. Sin embargo, a pesar de que actualmente existen numerosos equipos empleados para dichas labores, estos todavía presentan una serie de limitaciones técnicas y funcionales, que hacen que estos sistemas sean ineficientes, siendo las más destacadas:

- Los equipos empleados para estas actividades, suelen ser equipos destinados al mantenimiento de la vía, o al mantenimiento de la catenaria, no existiendo en el mercado un equipo que permita realizar ambas operaciones.

- Los equipos actualmente existentes en el mercado suelen ser equipos con los que solo se pueden realizar operaciones de control y mantenimiento para vías tradicionales (1668 mm), o para vías de Alta velocidad (1435 mm), no permitiendo adaptarse de manera rápida y eficaz a diferentes anchuras de vía.
- Los equipos no disponen de la estabilidad suficiente, de manera que su uso garantice una fiabilidad máxima en la toma de datos y elimine que los resultados se falseen por este motivo.
- La falta de flexibilidad y versatilidad en el diseño de los equipos no permite que puedan adaptarse en un futuro a la incorporación de nuevas tecnologías.

Por lo tanto, aunque actualmente, existen diversos sistemas para el mantenimiento e inspección, tanto de vía férrea como de catenaria, presentan una serie de limitaciones que hacen necesario llevar a cabo mejoras sustanciales.

2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

Una dresina es un vehículo automotor acondicionado con los equipos necesarios para realizar trabajos de mantenimiento de vía o catenaria, diseñado para realizar el transporte de operarios que ejecutan las tareas de mantenimiento, y sus mercancías correspondientes. Dicha función, se realiza de la forma más cómoda, eficiente, funcional y segura posible.

Son capaces de transportar cargas, que por volumen o peso no pueden ser transportadas en su caja de carga, remolcando un vagón, siendo la carga remolcable con una dresina del orden de unos 15.000 Kg.

Actualmente, en el mercado de dresinas existe una amplia gama, siendo algunas de ellas las que aparecen en las figuras 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6.



Figura 2.2. Vagoneta automotriz para trabajos de conservación de vía



Figura 2.3. Dresina automotriz para trabajos de auscultación de catenaria



Figura 2.4. Vagoneta automotriz para trabajos de auscultación y conservación de vía estrecha

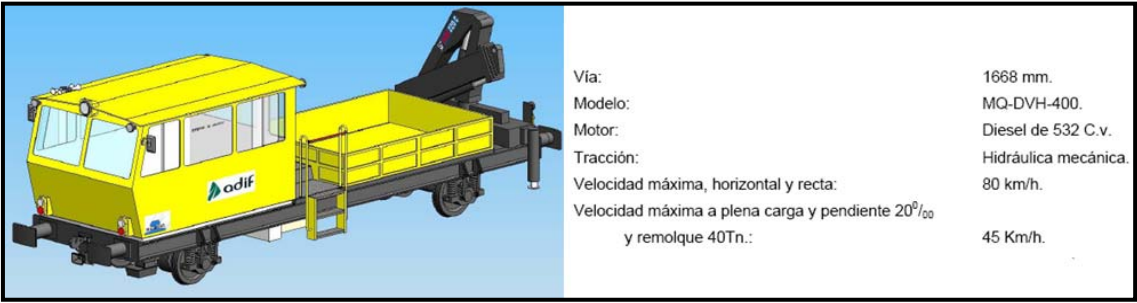


Figura 2.5. Vagoneta automotriz para trabajos de inspección de vía

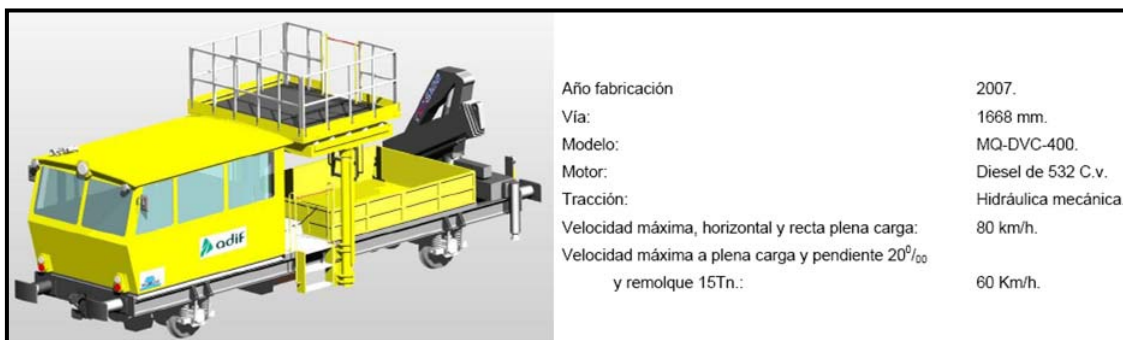


Figura 2.6. Vagoneta automotriz para trabajos de inspección de catenaria

Debido al aumento de la competencia entre las empresas de transporte, las condiciones marco y los mercados de las administraciones ferroviarias han cambiado profundamente. La necesidad de limitar los costes exige el aprovechamiento de todo el potencial de racionalización. Las estrategias de construcción y conservación se adaptan a las crecientes exigencias de seguridad en la explotación, la calidad, la fiabilidad y la disponibilidad de la catenaria, sobre todo en líneas de alta velocidad o altas prestaciones.

Las máquinas de construcción y renovación de catenaria, junto con las dresinas de inspección multifuncionales dotadas de una innovadora tecnología de trabajo para la adaptación de instalaciones existentes a exigencias superiores y para la sustitución del hilo de contacto, logran importantes incrementos en la productividad.

En los métodos de trabajo convencionales se trabajaba con herramientas básicas, un amplio equipo de trabajo y largos cortes de vía. Los procedimientos de trabajo modernos, con herramientas especializadas, que pueden adaptarse a cualquier circunstancia, permiten lograr productividades óptimas cumpliendo de manera fiable los criterios de calidad y seguridad.

2.3. COMPONENTES

2.3.1. INTRODUCCIÓN

Una dresina está constituida principalmente por una plataforma base, sobre la cual se instalan todos los elementos necesarios para la propulsión del mismo, como aquellos necesarios para el trabajo al que está destinado [4].

Sobre el bastidor se encuentra instalado el equipo de tracción principal, formado por un motor Deutz, y una tracción hidrostática de la casa Sauer- Danfoss. La tracción hidrostática está compuesta por una bomba hidráulica principal acoplada al motor, que envía el líquido necesario según las condiciones de circulación a dos motores hidráulicos. Dichos motores están acoplados

cada uno a un reductor, que se encuentra calado en cada eje de la máquina, y aproximadamente en la zona central.

La máquina posee un sistema de freno neumático, con timonería y actuación propia sobre dos zapatas por rueda, implementando un actuador de frenada por cada rueda. Este sistema neumático combina distintos tipos de freno, como son freno de servicio, freno de estacionamiento y freno de trabajo (también utilizado como freno de emergencia y freno de Hombre Muerto). El freno de estacionamiento es accionado por medio de la energía acumulada en cada resorte, que se incorpora en cada actuador de freno.

Cada vehículo posee un grado de compatibilidad determinado con vehículos de su misma casa y fabricante, para lograr composiciones en tándem.

Sobre el bastidor se encuentran varias zonas de trabajo, como son cabina de conducción, plataforma castillete, caja de carga y zona de grúa. Cada zona de trabajo se explica más adelante.

2.3.2. ZONA EXTERIOR. BASTIDOR, CABINA Y CAJA DE CARGA

2.3.2.1 Bastidor

El bastidor es una estructura de acero mecano soldada, realizada con elementos de alta resistencia y chapa de acero. Compuesta principalmente por cuatro largueros longitudinales de acero, dos de ellos en los extremos, y varios travesaños de vigas de igual medida armados todos entre si formando un conjunto único, como muestra la figura 2.7:

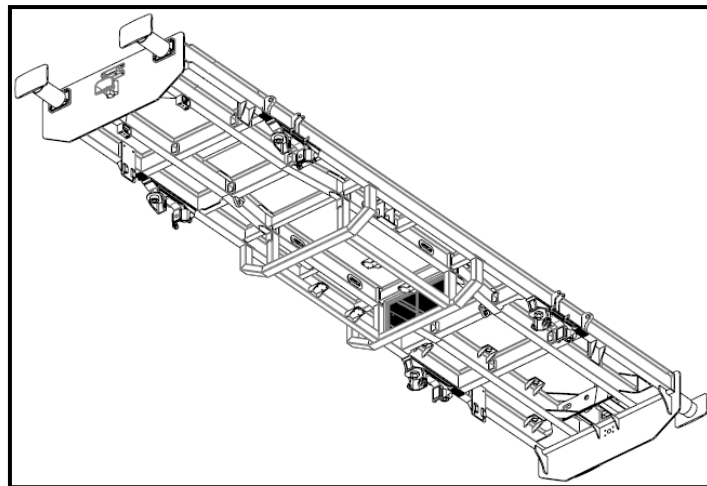


Figura 2.7. Bastidor de una dresina convencional

Sobre el bastidor se incorporan todos los soportes y fijaciones que permiten el montaje e instalación de todos componentes del vehículo. Descansa sobre los sistemas de suspensión montados en los extremos de los ejes de la dresina.

Para las operaciones de izaje, se dota al bastidor de puntos de elevación para el anclaje de tirantes o para la aplicación de gatos hidráulicos.

2.3.2.2. Cabina

La cabina es un habitáculo de estructura metálica chapada, con anclaje en el bastidor, donde se localizan todos los sistemas necesarios para la conducción de la dresina.

Una dresina tiene capacidad para moverse en ambos sentidos, para lo que dispone de dos puestos de mando en la cabina con dos pupitres a ambos extremos de la misma, uno para cada sentido de marcha, colocados en diagonal con los elementos de mando y control del vehículo.

En la figura 2.8 se representa un modelo de cabina para una dresina ferroviaria.

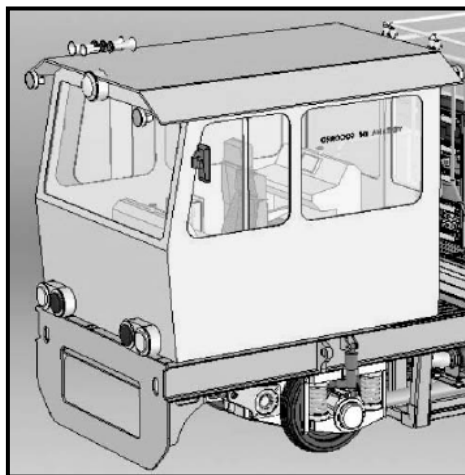


Figura 2.8. Detalle de cabina con dos puestos de conducción

El anclaje de la cabina al bastidor se suele realizar mediante *silentblocks* (antivibratorio de un material flexible o elastómero que se utiliza habitualmente entre los componentes mecánicos y la estructura en la que se apoya), para evitar al máximo la transmisión de vibraciones a los ocupantes.

2.3.2.3. Caja de carga

La caja de carga es una parte característica de la carrocería de la dresina destinada a contener la carga de materiales dedicados al mantenimiento de vía y catenaria.

La caja consiste en una estructura, enteramente metálica, de forma rectangular dotada de postes o pilares en los extremos y laterales abatibles y/o desmontables, que se fija al bastidor por detrás de la cabina de conducción. La fijación al bastidor puede ser fija o abatible, dependiendo del trabajo para el que se destine. La figura 2.9 ofrece una vista lateral de una caja de carga montada sobre una dresina.



Figura 2.9. Vista lateral de una caja de carga montada sobre una dresina

La estructura de los laterales se fabrica con chapas conformadas para aumentar la resistencia. El suelo de la caja de carga se tapiza de chapa antideslizante, preferiblemente estriada, que al apoyarse sobre una estructura metálica aporta una elevada resistencia.

2.3.3. MOTORIZACIÓN

2.3.3.1. Motor diesel

La dresina es un vehículo ferroviario propulsado por un motor diesel refrigerado por agua. El motor se instala, en posición central en el bastidor, con fácil acceso a sus componentes para realizar las labores de mantenimiento tanto desde la parte superior como desde los laterales a través de los accesos correspondientes. Al estar ubicado el motor debajo del bastidor se refrigera por el flujo del aire externo por cada sentido de marcha.

En la figura 2.10 se muestra la ubicación del motor en una dresina:

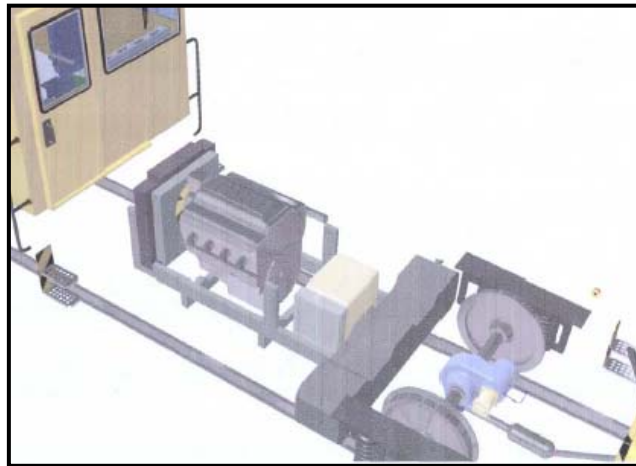


Figura 2.10. Vista lateral de una caja de carga montada sobre una dresina

La gestión de la inyección del motor y demás parámetros se realiza mediante una unidad electrónica. El arranque del motor diesel mediante motor eléctrico alimentado por batería. El aire de admisión es filtrado por un filtro de cartucho con indicador de colmatación. Las salidas de escape y admisión de aire del motor se diseñan para que el vehículo esté estacionado en la intemperie, sin daño para los elementos internos del motor.

El circuito de refrigeración se ajusta al propio motor para que en condiciones climatológicas extremas, garantice una perfecta refrigeración del mismo. Si no hay suficiente nivel de refrigerante, no se puede efectuar el arranque del motor. El líquido refrigerante está formado por agua más el aditivo de tratamiento con anticongelante.

2.3.3.2. Transmisión hidrostática

La transmisión hidrostática convierte la energía mecánica producida por el motor en energía hidráulica que, en forma de corriente fluida a elevada presión, transmite el movimiento a las ruedas.

El sistema de transmisión hidrostática para dresinas es un circuito hidráulico cerrado, está compuesto por una bomba con control eléctrico proporcional y dos motores de desplazamientos variables. Dichos motores se acoplan uno sobre cada reductor de ejes, y se controlan por un sistema eléctrico proporcional. Todo el control del sistema se realiza a través de un microprocesador, que es el que mantiene el control de desplazamiento de la bomba y los motores hidráulicos en cada momento, y ante cada condición de circulación.

El microprocesador recibe la señal del número de vueltas al que gira el motor térmico, por medio de un sensor de velocidad instalado en la bomba. En base al programa que tiene instalado en el

microprocesador (software), se envían unas señales de intensidad de salida hacia el control eléctrico, montado en la bomba y en los controles hidráulicos. Este sistema es conocido bajo el nombre de *Control Automotive* (control automático), porque tanto la bomba como los motores hidráulicos, siempre se colocan en la posición de cilindrada variable y posición de trabajo óptima, según la potencia entregada por el motor diesel. Por tanto, ante las condiciones de resistencia a la rodadura, el conductor selecciona o establece un régimen de potencia del motor, y ante dicha potencia entregada al sistema hidráulico, el motor reacciona automáticamente, entregando más velocidad o fuerza según la situación demandada.

Este sistema automático está constantemente variando la entrega de potencia hacia las ruedas tractoras según dos condiciones:

- La resistencia a la rodadura.
- La potencia entregada por el motor en cada momento.

En la actualidad el sistema incorpora una serie de funciones adicionales, que aportan ventajas o prestaciones al sistema. Todas ellas se controlan a través del microprocesador general del sistema. Entre estas funciones se encuentran:

- *Pedal inching*, se usa para aproximaciones milimétricas de la máquina, para engancharse con otro vehículo a la potencia máxima, pero controlando la velocidad de desplazamiento. Este pedal es muy útil para la maniobra de enganche o aproximación de topes, cuando la máquina se encuentra cuesta arriba, cargada a máxima carga, y con el máximo remolque.
- Control del sistema opcional sobre frenos de servicio y lazo de seguridad mediante software, se corta la tracción ante cualquier señal de estos dispositivos.

2.3.4. EQUIPO NEUMÁTICO DE FRENO

El sistema de freno es neumático por aire comprimido. El aire es producido por el compresor incorporado en el motor, pasa a través de un regulador de presión, secadores de aire y termina almacenándose en unos calderines principales.

2.3.4.1. Freno directo

El freno directo ofrece una frenada proporcional llegándose a presión máxima en los actuadores de freno.

El freno directo se utiliza para la circulación de la máquina cuando no va en composición. Es proporcional y accionado desde los puestos de conducción. Llega a producir una frenada máxima cuando a los actuadores de freno les llega la presión máxima.

2.3.4.2. Freno indirecto

El freno indirecto se utiliza cuando la máquina va a circular en composición, es proporcional y accionado desde los puestos de conducción de la máquina tractora. La presión en los actuadores de freno es proporcional hasta llegar a presión máxima, utilizándose como señal de frenada la caída de presión. Con este tipo de freno se aplica la frenada tanto en el vehículo tractor (dresina) como en el remolque.

2.3.4.3. Freno de servicio

El freno de servicio es la aplicación del freno directo a través de una electro-válvula, se acciona desde los puestos de trabajo que ofrece la dresina.

Este freno aplica una presión proporcional a los cilindros de freno de 0 a 6 bares. Está controlado por medio de una maneta que regula la proporcionalidad de la señal de frenada. Si la maneta se desplazada a tope (abierta 100% de su recorrido), la frenada de servicio es máxima e instantánea, haciendo pasar de golpe 6 bares a todos los cilindros o actuadores de freno.

2.3.4.4. Freno de estacionamiento

El freno de estacionamiento aplica una frenada mecánica (accionamiento de muelles) por falta de presión de aire en los cilindros o actuadores de freno. Este freno es accionado a través de una electro-válvula que reconoce la falta de tensión. También se aplica por pérdida de aire en el sistema neumático.

2.3.4.5. Freno de emergencia

El freno de emergencia proporciona una frenada máxima aplicando la máxima presión de aire en los cilindros de freno instantáneamente.

Esta frenada se aplica a través de un pulsador con enclavamiento, se corta la tracción hidrostática generando el 100% de la frenada máxima de servicio (envía 6 bares de presión a todos los cilindros de freno).

2.3.4.6. Timonería de freno

La timonería de freno es la encargada de aplicar el esfuerzo de frenado a las zapatas, está diseñada para eliminar las holguras producidas por el desgaste de zapatas y calculadas para que no tengan deformaciones.

Si el diseño de la timonería es sencillo e independiente, sirva como ejemplo la figura 2.11, puede colocarse una por cada rueda. El objetivo de su aplicación es enviar el esfuerzo de un único

actuador a 2 zapatas que actúan sobre la rueda. También por medio de esta timonería se amplifica el esfuerzo del actuador, logrando de esta forma mayor esfuerzo de frenada.

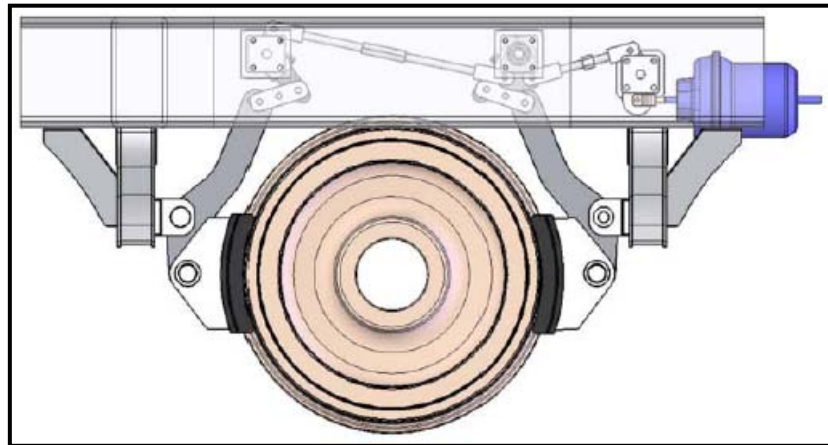


Figura 2.11. Conjunto de timonería de freno independiente

2.3.5. ELEMENTOS DE RODADURA

2.3.5.1. Ejes

Una dresina dispone de dos ejes motores que se encargan de la transmisión del movimiento a la vía, garantizando el desplazamiento del vehículo en ambos sentidos de la marcha a todas las velocidades practicables, tanto en régimen de traslado en línea, como de trabajo en obra.

Todos los elementos del conjunto de una dresina se distribuyen sobre el bastidor que se apoya sobre los ejes. Entre el bastidor y los ejes se disponen los elementos de suspensión, que aseguran la estabilidad y confort del vehículo.

La figura 2.12 muestra la simulación de un eje completo que comprende el eje macizo, reductor intermedio, ruedas caladas y las cajas de grasa en cada extremo del eje. La diferencia de carga entre los dos ejes del vehículo no suele sobrepasar el 15% del peso total del vehículo.



Figura 2.12. Eje completo montado en una dresina

En el centro del eje se sitúa el reductor unido al motor hidráulico, mediante acoplamiento elástico, permitiendo la transmisión del movimiento con la absorción de ligeros desalineamientos (tanto lineales como angulares).

2.3.5.2. Ruedas

Las ruedas de una dresina se caracterizan por ser monodisco estampado, construidas en acero laminado de calidad R-7, con una resistencia de 82 a 94 Km/m² y un tratamiento térmico templado. Están preparadas para el decalaje hidráulico. Las dimensiones principales de las mismas son:

- Diámetro de ruedas: 800 mm
- Anchura llanta: 135 mm

Las ruedas están preparadas para calar y decalar en frío, están provistas de vía de engrase a presión para facilitar el decalaje.

Las ruedas tienen marca de desgaste, mediante ranura en la cara externa, el límite de desgaste o diámetro mínimo de retorneado.

2.3.5.3. Cajas de grasa

La caja de grasa es el elemento sobre el cual se fijan los resortes o ballestas que soportan el bastidor del vehículo, transmitiendo la carga a la parte final del eje de la rueda [5]. Deben estar dispuestas con el fin de disminuir los rozamientos, las pérdidas de lubricante, los calentamientos y averías, y los gastos de conservación. Existen dos tipos principales, las cajas de grasa con cojinetes de fricción y las cajas de grasa con cojinetes de rodillos.

Las cajas de grasa que se colocan en las dresinas van montadas sobre rodamientos de rodillos cilíndricos oscilantes en la parte central o del cubo de la caja de grasa. A ambos lados de la parte central, se encuentran los muelles helicoidales de la suspensión con guiado por guías cilíndricas telescópicas por el interior del muelle, estas guías son de acero tratado térmicamente y con elementos de fricción formando un conjunto (hembra-macho) de contacto permanente y lubricado.

La parte superior incorpora el soporte para el amortiguador y el tope de goma del límite de suspensión o compresión de los muelles. En los laterales de la caja de grasa se encuentran los tirantes para evitar el descuelgue de los ejes en el izaje del vehículo. En la figura 2.13 se muestra un ejemplo de caja de grasa.

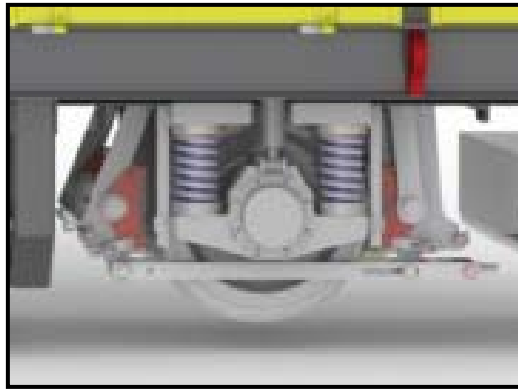


Figura 2.13. Caja de grasa montada sobre una dresina

2.3.5.4. Suspensión

El sistema de suspensión de una dresina es el conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los órganos suspendidos (bastidor, cabina, ocupantes, carga, etc.) y los órganos no suspendidos (ruedas y ejes). Su misión es absorber las reacciones producidas en las ruedas por las desigualdades del terreno.

La suspensión se encuentra entre las cajas de grasa y el bastidor de la dresina, es del tipo de muelles helicoidales. El bastidor de la máquina transmite la carga a las cajas de grasa de los ejes a través de muelles helicoidales, habiendo dos conjuntos dobles de muelles por cada caja de grasa, con sus correspondientes amortiguadores hidráulicos.

La estabilidad se termina de conseguir por medio de un amortiguador exterior de doble efecto que evita los balanceos tanto en el plano vertical como en el horizontal de la carrocería con respecto a la rodadura.

Finalmente, en este tipo de suspensiones se localiza un tope de goma que limita la carrera de la suspensión (en la parte superior de la caja de grasa) que hace contacto en el plano inferior del bastidor. Este límite de la suspensión evita que los muelles lleguen a adoptar la postura denominada “bloqueo”.

2.3.5.5. Sistema de arenado

El sistema de arenado está destinado a aumentar la capacidad de adherencia de la máquina en el momento de arranque o de frenado. Esto se consigue por medio de la aportación de arena, en la zona próxima entre rueda y carril. Por lo cual, debe ser usado en el momento que el conductor percibe que, por circunstancias externas, la máquina pierde tracción, por el efecto de patinado.

El sistema de arenado está compuesto fundamentalmente por cuatro tolvas. Cada tolva, una por rueda, envía el aire a la boca de salida del arenado. En la salida inferior de cada tolva se encuentran las válvulas de arenado, son las encargadas de expulsar la cantidad de arena necesario cuando se le proporciona el caudal de aire proveniente de depósitos generales.

2.3.6. GRÚA

Una dresina de mantenimiento de vía y catenaria dispone en la parte trasera opuesta a la cabina, de una grúa de accionamiento hidráulico compacta plegada, con posibilidad de colocarla longitudinalmente sobre soporte, con el fin de facilitar la visibilidad en el sentido de conducción hacia atrás.

El circuito hidráulico está formado por una bomba de engranajes, el aceite hidráulico pasará hacia la grúa a través de una electro-válvula que enviará dicho aceite hacia la misma, hacia el tanque, depósito o hacia otra aplicación que se desee habilitar para otro dispositivo hidráulico.

Una vez diseñada la máquina, teniendo las cargas repartidas sobre el bastidor, así como la ubicación de los centros de gravedad de cada componente de la misma, se fijan los porcentajes de capacidad de utilización de la grúa para cada caso, intentando en la medida de lo posible ajustar los valores al máximo con respecto a las necesidades exigidas.

2.3.7. CASTILLETE

El castillete se puede definir como una plataforma elevadora móvil de personas que tiene como finalidad permitir que los operarios puedan realizar tareas de mantenimiento e inspección en las catenarias de las redes ferroviarias.

En la figura 2.14 se puede observar un castillete montado sobre una dresina.

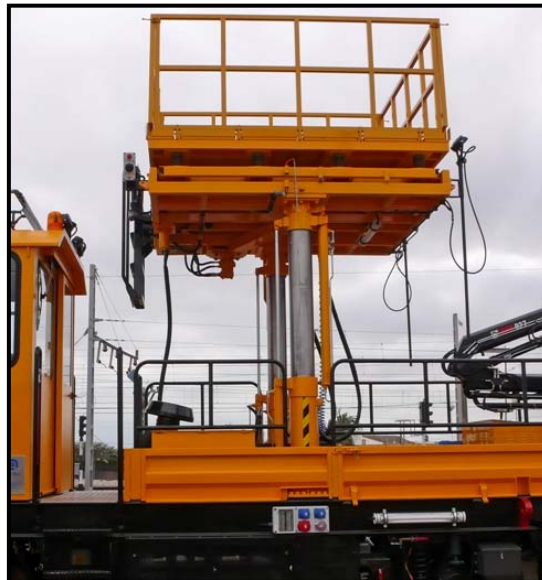


Figura 2.14. Castillete de elevación

El castillete es accionado hidráulicamente permitiendo que su plataforma se desplace vertical y transversalmente a la vía. El desplazamiento vertical se realiza con la ayuda de dos columnas telescópicas de doble elevación, el desplazamiento transversal se realiza con un mecanismo de piñones y cadena.

El castillete está dotado de un freno de seguridad que evita desplazamientos transversales no deseados, manteniendo la plataforma móvil frenada salvo cuando se envía presión al motor hidráulico que acciona el mecanismo de piñón y cadena. Adicionalmente la plataforma se equipa con sistema de enclavamiento mecánico y manual que la mantiene fija.

El control del castillete se puede realizar desde el puesto de mando ubicado en la plataforma del mismo o desde cualquier otra posición mediante un mando inalámbrico.

2.3.8. PANTÓGRAFO

La máquina dispone de un pantógrafo articulado de accionamiento eléctrico ubicado sobre el techo de la cabina.

El sistema está formado por dos módulos principales comunicados por fibra óptica, un módulo superior que es el encargado de recoger las señales del descentramiento, la altura del hilo, la presión ejercida sobre las células de carga y la tensión de las baterías; y un módulo inferior, donde se recoge la señal del tacómetro y el pulsador de eventos, se procesan todos los datos y



se obtiene como salida las señales adecuadas para el registro sobre papel de los resultados, así como el almacenamiento informático de los datos obtenidos en la auscultación.

Las dresinas pueden realizar una auscultación a velocidad de hasta 20 km/h (velocidad máxima en modo de trabajo), registrando los datos de la catenaria, con visualización en tiempo real.

2.3.9. EQUIPOS DE SEGURIDAD

Uno de los requisitos en el diseño de este tipo de maquinaria es la incorporación de importantes medidas de seguridad. La seguridad, tanto activa como pasiva, permite eliminar algunas de las situaciones de riesgo que se pueden dar hoy en día y que son fácilmente evitables con los sistemas adecuados.

2.3.9.1. Parada de emergencia

La parada de emergencia es la frenada máxima del vehículo por medio de una actuación eléctrica y/o mecánica, donde la presión máxima de frenada llega a la cámara de servicio de los actuadores.

La actuación de la parada de emergencia también envía señal eléctrica al microprocesador de la tracción hidrostática, para que este efectúe un corte de tracción, colocando tanto a la bomba hidráulica como a los motores hidráulicos, en la condición de máxima retención hidráulica del sistema.

2.3.9.2. Hombre muerto

El hombre muerto es un dispositivo de seguridad de vigilancia, que tiene como fin asegurar que el operario de la máquina está en todo momento en condiciones de conducirla, mientras ésta se encuentra en marcha.

La actuación de este dispositivo aplica la máxima frenada de la máquina por medio de la válvula de hombre muerto, introduciendo la máxima presión en cilindros de freno, mientras manda la señal correspondiente al microprocesador de la tracción para efectuar el corte de la misma (retención hidráulica máxima).

CAPÍTULO 3

PROYECTO REAL DE INVESTIGACIÓN DE DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA DRESINA. FASES DE TRABAJO Y PLANIFICACIÓN DE LAS TAREAS.

3.1. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. RESUMEN

Desde la aparición de la Alta Velocidad Española (AVE) en 1992, la red ferroviaria de alta velocidad de España se ha visto incrementada notablemente con 2.665 km en servicio y muchos otros en diferentes fases de construcción. Con la consecuente modernización de las infraestructuras de transporte del país, este proyecto a largo plazo consigue revitalizar numerosas zonas tradicionalmente apartadas. La inclusión de trenes de fabricación nacional y las constantes obras han supuesto un importante impulso en la economía española.

Estas actuaciones conllevan una importante inversión en forma de creación de nuevas vías de circulación y mantenimiento de las ya existentes, de forma que estas sean capaces de absorber



y soportar la creciente cantidad de vehículos que circulan por ellas, garantizando en la medida de lo posible los máximos niveles de seguridad para los usuarios.

Los carriles instalados en las vías ferroviarias en todo su ciclo de vida están sometidos a grandes tensiones haciéndose necesaria una buena gestión de mantenimiento para corregir los defectos superficiales que esta situación provoca. Además, el aumento del 25% de la velocidad de los trenes AVE respecto a los trenes tradicionales que circulan por las vías nacionales agravan los defectos anteriormente descritos. Actualmente, los costes de mantenimiento se están incrementando, sobre todo en las nuevas líneas de alta velocidad.

En vista de esto, las tareas de auscultación y control de la infraestructura ferroviaria cobran especial importancia, principalmente en cuanto a la búsqueda de aquellas anomalías que puedan repercutir negativamente en la operatividad futura de dichas infraestructuras.

Por todo ello, se considera necesario seguir investigando en la optimización de las operaciones de mantenimiento para poder prevenir posibles accidentes y aumentar la duración de vida de todos los útiles ferroviarios.

Actualmente, existen diversos equipos para las labores de mantenimiento y control de las infraestructuras ferroviarias, agrupándose fundamentalmente los mismos en dos: sistemas para la auscultación de vía y sistemas para la auscultación de catenaria. Asimismo, estos equipos suelen ser utilizados para un ancho de vía específico, no disponiendo de la flexibilidad de poder adaptarse de manera rápida y eficaz a diferentes anchuras de vía (tradicional o de Alta Velocidad). Por ello, actualmente, la maquinaria empleada para las labores de mantenimiento y control de la infraestructura ferroviaria, a pesar de disponer de numerosas ventajas, presentan todavía una serie de limitaciones.

Por lo tanto, con el fin de solventar las ineficiencias actuales, se plantea el Proyecto de Investigación y Desarrollo (I+D) “Diseño y desarrollo de una nueva maquinaria para el control y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias”.

Para ello, se utilizan nuevas cajas de grasa, en las que se montan cada sistema de suspensión de la dresina, permitiendo conseguir una mayor estabilidad, incrementando por tanto la eficacia de los sistemas de medida de parámetros. Además, con objeto de reducir el tiempo de los ciclos de mantenimiento, se desarrolla un sistema de encarrilamiento a través de la utilización de cuatro cilindros hidráulicos.

De cara a mejorar la eficacia de la tarea del mantenimiento de la catenaria, se desarrolla en la dresina un castillete elevable (hasta la altura óptima de mantenimiento de la catenaria), instalándose en la plataforma de la misma, junto con la grúa para el mantenimiento de la vía. Además, en el perímetro de dicho castillete se instalan rodapiés de 15 cm, una escalera de acceso con pasamanos hacia la cabina de conducción y una barandilla en la escalera que



dispone de una puerta centrada con mecanismo de recuperación por muelle que la mantiene siempre cerrada.

Por último, para facilitar las tareas de carga y descarga de material, los laterales de la plataforma de carga son abatibles mediante unos seguros de anclaje que permiten bajar manualmente los mismos, hasta apoyar con el andén. Como elemento de seguridad, incluido en el lazo, existe un final de carrera que detecta la posición de todos los laterales.

Por lo tanto, con el desarrollo de la dresina, se dispone de un sistema de mantenimiento ferroviario capaz de realizar este proceso de manera más eficaz, necesitando menos ciclos de mantenimiento gracias a su diseño, ofreciendo una mayor seguridad a los operarios, además de contribuir a la reducción de los costes de mantenimiento globales.

3.1.2. OBJETIVOS

El desarrollo del proyecto de investigación tiene como objetivo fundamental solventar las ineficiencias actuales de la maquinaria empleada en labores de control y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria, siendo capaz de realizar este proceso de manera más eficaz, necesitando menos ciclos de mantenimiento gracias a su diseño, y contribuir adicionalmente a la reducción de los costes de mantenimiento globales aumentando la seguridad de los operarios.

El desarrollo de este tipo de dresina, aporta un valioso conocimiento al proceso de inspección y mantenimiento tanto de las vías férreas, como del tendido eléctrico o catenaria, con la finalidad de favorecer los trabajos de auscultación, registro y actividades de tendido de la línea aérea de alimentación eléctrica.

Esta investigación supone un importante avance en lo referente a las labores de auscultación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria, aumentando notablemente la eficiencia de los sistemas utilizados hasta ahora. Con su desarrollo, se pretende alcanzar los siguientes objetivos finales:

- Reducir el tiempo de la operación de mantenimiento y supervisión de las vías del ferrocarril.
- Alargar la vida útil de las vías.
- Cubrir una necesidad del sector ante la perspectiva de mercado de amplio crecimiento que representa la Alta Velocidad en España y su fuerte expansión en los futuros años.
- Disponer de un conocimiento detallado del estado de la infraestructura.
- Asegurar los máximos niveles de seguridad, minimizando la posibilidad de accidentes.



- Contribuir a establecer una referencia para nuevas líneas abiertas de investigación y alimentar las ya existentes.
- Incrementar el contenido tecnológico de la empresa y por lo tanto aumentar el nivel competitivo de la empresa, además de mejorar su imagen corporativa en los mercados nacionales e internacionales ya que ofrecerá un producto de mayor calidad.
- Incrementar sus actividades en I+D, logrando un claro aumento de responsabilidades y de competencias técnicas por parte del equipo de trabajo.

Adicionalmente, los objetivos técnicos específicos del proyecto a alcanzar mediante el desarrollo del mismo, son:

- Mejorar las operaciones de auscultación, inspección y mantenimiento en vías ferroviarias y tendido eléctrico – catenaria, ya que gracias al desarrollo de esta nueva dresina se alargarán los ciclos de mantenimiento y por lo tanto se contribuirá, de manera global, a la reducción de costes de mantenimiento ferroviario.
- Disponer de un sistema flexible que posibilite a la maquinaria poder adaptarse, de manera rápida y eficaz, a diferentes anchuras de vías, ancha o tradicional (1668 mm) y la específica del AVE (1435 mm).
- Disponer de una mayor precisión en la toma de medidas del tendido y cableado, a través de una mayor estabilidad de la dresina, lo cual evitará que los resultados se falseen por este motivo.
- Disponer de un sistema flexible y versátil el cual se pueda adaptar a la incorporación de las últimas tecnologías de sistemas de medida (p.e. detección de fallos o imperfecciones por ultrasonidos, rayos X, etc.).
- Disponer de un sistema de mantenimiento más ergonómico. Para ello se incorporará en el pantógrafo (medio de captación de tensión eléctrica) un sistema de medida de altura de contacto registrándose en un display, y del descentramiento del hilo de catenaria, que éste se verá directamente sobre una reglilla graduada colocada sobre el mismo pantógrafo además de verse en directo en una TV situada en el interior de la cabina.
- Incorporar avanzados sistemas de seguridad que eviten situaciones de riesgo para los operarios en tareas de mantenimiento.



3.1.3. AVANCES CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS

Con la realización de la investigación, se diseña y desarrolla un nuevo sistema para el mantenimiento y control, tanto de la vía férrea como del tendido eléctrico o catenaria, más económico, flexible, cómodo y eficaz que los sistemas actualmente empleados.

La mayor autonomía que aporta la nueva dresina para estas labores de auscultación, así como su contribución a la reducción de los costes de mantenimiento globales, son algunas de las ventajas que ofrece el proyecto.

Por lo tanto, la dresina ferroviaria desarrollada solventa las necesidades detectadas en el resto de sistemas utilizados en la actualidad, e introduce algunas novedades tecnológicas y funcionales entre las que destacan las siguientes:

- Desarrollo de una oferta con mayor calidad y seguridad, gracias a la implementación de nuevas tecnologías y a la mejora de la productividad a través de la optimización de los procesos y de una explotación eficiente de los activos.
- Optimización de las operaciones de auscultación, inspección y mantenimiento en vías ferroviarias y tendido eléctrico - catenaria.
- Dotación de un sistema más flexible que posibilite a la maquinaria poder adaptarse, de manera rápida y eficaz, a diferentes anchuras de vías.
- Aumento de la fiabilidad de los sistemas de auscultación de infraestructuras ferroviarias.
- Aumento de la flexibilidad y versatilidad del diseño.
- Reducción del tiempo de la operación de mantenimiento y supervisión de las vías del ferrocarril.

Este tipo de maquinaria permite la realización del mantenimiento y control de las infraestructuras ferroviarias de manera más eficaz, ofreciendo mejores rendimientos aumentando la calidad y seguridad de trabajo. Con esta finalidad se han plasmado una serie de nuevas tecnologías:

- Diseño y desarrollo de una nueva maquinaria autopropulsada de gran autonomía, que permite realizar las operaciones de control y mantenimiento de las vías tanto nacionales (1668 mm), como de alta velocidad (1435 mm), en mejores condiciones.
- Diseño y desarrollo de una dresina dotada de mayor estabilidad, lo cual facilitará la toma de medidas del tendido y cableado, evitando que los resultados se falseen por este motivo.



- Diseño y desarrollo de una maquina dotada de mayor flexibilidad y versatilidad en su diseño, lo que le permite adaptarse en un futuro a la incorporación de las últimas tecnologías de sistemas de medida.
- Diseño y desarrollo de un equipo más ergonómico en tareas del proceso de mantenimiento con la incorporación en el pantógrafo (medio de captación de tensión eléctrica) de un sistema de medida de altura de contacto y descentramiento del hilo de catenaria.
- Incorporación al equipo de avanzados sistemas de seguridad para evitar situaciones de riesgo de los operarios.

Con todas las características comentadas, se obtiene una nueva maquinaria, multiflexible, para el control y mantenimiento tanto de las vías de ferrocarril, de cualquier ancho, como del tendido eléctrico o catenaria, más eficaz y seguro que los actuales, con el que se solventan las necesidades detectadas hasta la fecha.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE TRABAJO

Para llevar a cabo el diseño y desarrollo de una dresina se elabora un plan de trabajo específico en el que se detallan las fases, con las actividades a ejecutar en las mismas, así como la duración de cada una de ellas. El tiempo invertido en la realización de las tareas que lo componen es un dato aproximado que puede variar en función de los resultados que se vayan obteniendo.

En una de estas fases, *“Diseño y desarrollo del prototipo de la nueva maquinaria”*, se desarrolla este Proyecto Fin de Carrera, enfocado al óptimo diseño de componentes de una dresina bajo el cumplimiento de los requisitos de seguridad que marca la Unión Internacional de Ferrocarriles.

Durante este capítulo, se explican las fases que componen el Proyecto de Investigación y Desarrollo de una dresina, puesto que, en este entorno se ha llevado a cabo este Proyecto Fin de Carrera.

Las fases que componen el desarrollo real de una dresina ferroviaria, son las siguientes:

- **Fase I: Planificación y alcance del proyecto. Determinación de requisitos**

En esta primera fase y siguiendo las directrices marcadas por el plan de gestión de proyectos, se establece la metodología de operación, la planificación de las tareas y fases a realizar, así como la estrategia de trabajo.



Se concretan los objetivos marcados para cada fase, atendiéndose a vigilancia tecnológica y a la propia experiencia de la empresa, como punto de partida para la conseguir la superación tecnológica deseada y siempre acorde a unos objetivos y resultados racionales.

Al final de la ejecución de la primera fase, se está en disposición de determinar y especificar los requisitos técnicos que los nuevos productos deben satisfacer.

- **Fase II: Diseño y desarrollo del prototipo de la nueva maquinaria**

En esta segunda fase, el objetivo principal es diseñar y desarrollar el nuevo prototipo de dresina a partir de los requisitos establecidos en la fase anterior. Las tareas que se llevan a cabo son las siguientes:

- *Diseño básico.* En esta sub-fase se concretan los requisitos técnicos y se plasman en un primer diseño básico donde se recogen los conocimientos científico-técnicos contemplando los siguientes aspectos:
 - Descripción del diseño y perfilado de características.
 - Planificación de recursos.
 - Planos preliminares.
- *Diseño de detalle.* A partir de la información generada en el diseño básico se completan los detalles del diseño contemplando aspectos tales como:
 - Descripción del diseño.
 - Elementos de apoyo o infraestructura necesaria.
 - Equipo de diseño.
 - Estructura de comunicaciones.
 - Planos de construcción, etc.
- *Desarrollo del prototipo.* Desarrollo de sub-sistemas auxiliares: accionamientos y de control, electricidad y software integrado en la nueva dresina.



- **Fase III: Pruebas y ensayos. Validación final**

En esta fase, el prototipo es sometido a una serie de pruebas para determinar el funcionamiento y acoplamiento de los sub-conjuntos de la maquinaria.

Una vez que se hayan corregido las posibles incidencias y la nueva dresina funcione con normalidad en un entorno acotado, se traslada la maquinaria a unas instalaciones adecuadas donde se realizan pruebas en un entorno real para comprobar a pleno rendimiento el funcionamiento de la máquina. Según los resultados que se obtengan se modifica el diseño, retroalimentando a la fase anterior, hasta que se alcanzan las expectativas y objetivos planteados en un inicio.

- **Fase IV: Análisis y estudio de los resultados**

Al final de la ejecución del proyecto, se acomete una fase o periodo de análisis y estudio de los resultados globales para obtener así una valoración final de la ejecución del proyecto, evaluando el éxito o fracaso del mismo.

Esta calificación depende del alcance de los objetivos inicialmente planteados en la presente memoria. Además, se pretende que los resultados finales se reflejen en un documento donde se indiquen además de los resultados y las conclusiones, nuevas posibles líneas de investigación nacidas en el seno de la ejecución del presente proyecto y que no hayan dado lugar a su desarrollo por la naturaleza del mismo, pero que en un futuro y de forma independiente pudieran dar lugar a futuros proyectos de I+D+i.



3.2.1. FASE I: PLANIFICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO. DETERMINACIÓN DE REQUISITOS

En esta primera fase se definen las especificaciones técnicas necesarias de la nueva dresina para control y mantenimiento de vía férrea y catenaria. En la tabla 3.1 quedan recogidas las especificaciones más significativas.

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas dresina

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Largo | 10.500 mm |
| Largo con topes | 11.800 mm |
| Ancho | 2.556 mm |
| Alto | 3.250 mm |
| Altura bastidor a plano de rodadura | 1.000 mm |
| Ancho de cabina | 2.310 mm |
| Largo de cabina | 3.080 mm |
| Alto de cabina sin pantógrafo. | 2.215 mm |
| Alto de cabina con pantógrafo. | 2.650 mm |
| Capacidad de cabina | 6 ocupantes |
| Peso de la máquina | 22.000 Kg |
| Carga de la máquina | 4.000 Kg |
| Capacidad de remolque | 16.000 Kg |

3.2.2. FASE II: DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE LA NUEVA MAQUINARIA

En esta segunda fase, las actividades que se desarrollan son las siguientes:

- Diseño básico
- Diseño detallado
- Desarrollo del prototipo



3.2.2.1. Diseño básico

En este punto, se indican los principales requisitos definidos para el diseño básico de la dresina:

- La dresina, se diseña como un vehículo automotor acondicionado para trabajos de mantenimiento de vía y catenaria. Puede efectuar el transporte de operarios que ejecutan los trabajos de mantenimiento de la vía y las mercancías correspondientes, realizándose de la forma más cómoda, eficiente, funcional y segura posible. La dresina estará constituida por un bastidor con una longitud de 10,5 m.
- Para los operarios se especifica la necesidad de una amplia cabina, acondicionada térmicamente que permita el traslado a 5 operarios más el conductor.
- En el exterior se debe encontrar una amplia plataforma de carga y trabajo de 10 m², un pantógrafo sobre cabina y en el extremo opuesto a cabina una grúa hidráulica.
- Se añade la necesidad de trasladar cargas que no quepan en la plataforma. Para ello, se incluye en el diseño la capacidad de enganche de vagones que se puedan remolcar con la dresina (máxima carga remolcada de 15.000 Kg).
- Se dimensiona el tipo de motor y la necesidad de potencia. Para este tipo de maquinaria se acoplan motores diesel de 300 KW y tracción hidráulica con control automático y conducción manual de forma optativa. El diseño incluye el sistema de rodadura formado por dos ejes motorizados con reductor situado entre las ruedas en el que se acopla el motor hidráulico de la tracción hidrostática. En el extremo de cada eje se sitúan las cajas de grasa, con guías telescópicas y dos muelles helicoidales, cada caja incluye un amortiguador telescópico de doble efecto
- El sistema de freno es por aire comprimido, puede alimentar y frenar a otro vehículo remolcado. En cada rueda se sitúan un par de zapatas encargadas de aplicar el freno, están accionadas por una timonearía de freno que transmite el esfuerzo de freno del actuador de freno a las mismas.
- La seguridad es vital en este tipo de maquinaria, por lo general se incluyen los siguientes sistemas:
 - Parada de emergencia: en pupitre, en el exterior de la máquina y en las cuatro esquinas.
 - Sistema de “hombre muerto” en cabina homologado con pulsadores de pie y mano.

En el diseño de la dresina prevalece la optimización de la seguridad y funcionalidad de manera que pueda satisfacer las necesidades del personal ferroviario manteniendo una reducción en los costes de operación y de mantenimiento.

Como resultado de esta etapa de trabajo, la figura 3.1 muestra la simulación de los diseños previos de la dresina.

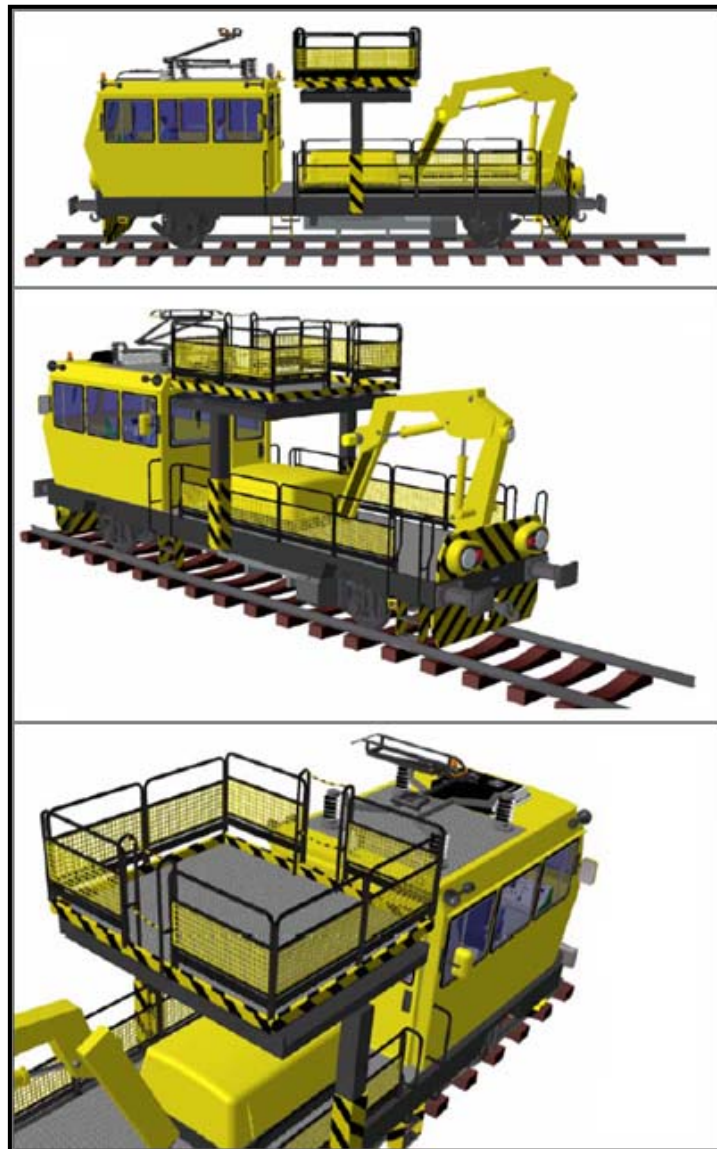


Figura 3.1. Vista general de los diseños previos de la dresina

3.2.2.2. Diseño de detalle

A partir de las conjeturas obtenidas durante el diseño básico de la dresina, se desarrollan, de manera más detallada, las especificaciones y requerimientos definidos para cada uno de los subsistemas que componen la dresina.

3.2.2.2.1. Conjunto dresina.

En primer lugar se plantea el diseño de conjunto de la dresina para posteriormente, ir profundizando en cada uno de los componentes. En la figura 3.2 se muestra el diseño final resultante.

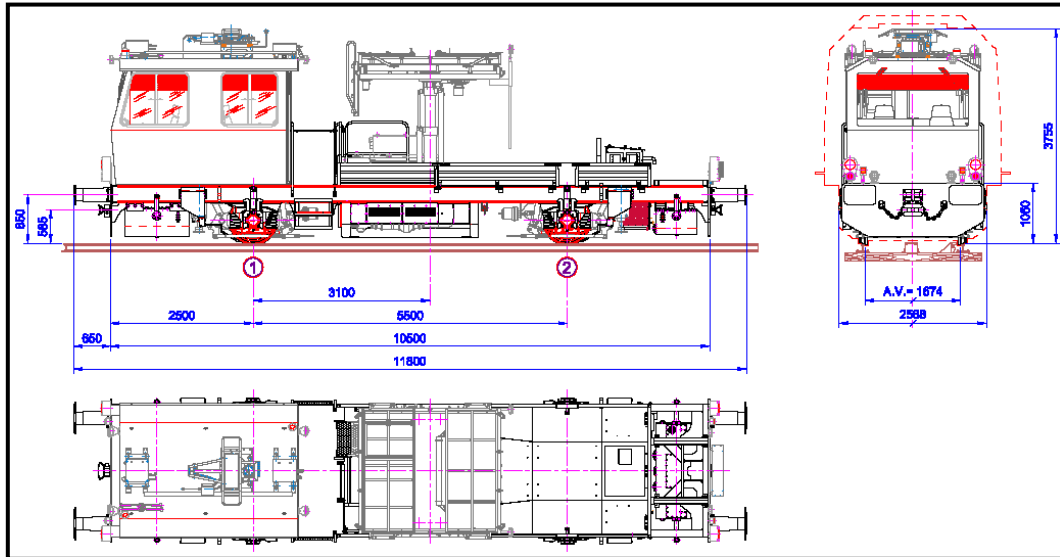


Figura 3.2. Plano de detalle conjunto dresina

3.2.2.2.2. Cabina

Su diseño en cuanto a construcción, acabado y componentes se realiza según la Norma Europea PNE-EN 14033 de manera funcional y lógica, con el riesgo mínimo de accionamientos accidentales.

La figura 3.3 agrupa las diferentes vistas de una cabina de dresina

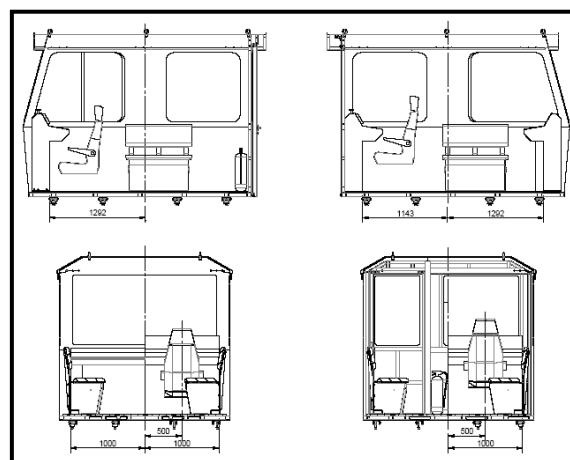


Figura 3.3. Plano de detalle cabina

3.2.2.2.3. Conjunto sistema de rodadura

El sistema de rodadura como conjunto incluye eje, ruedas, reductor y cajas de grasa, antes descritos, como principales elementos. En la figura 3.4 se muestra el diseño final de los elementos que componen el sistema de rodadura.

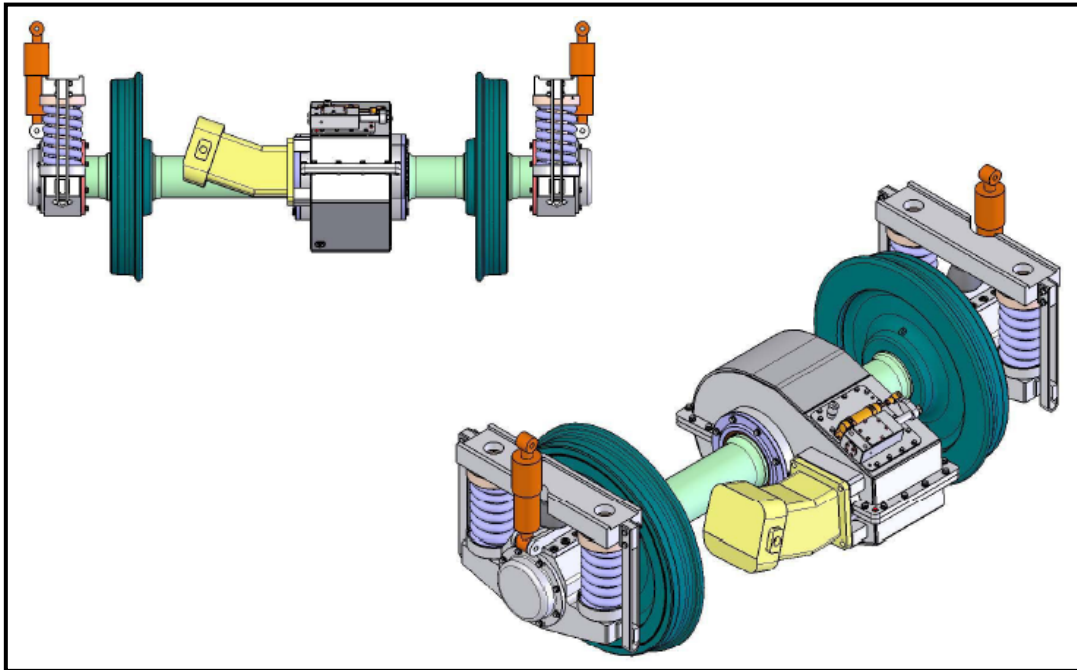


Figura 3.4. Diseño final conjunto del sistema de rodadura dresina

3.2.2.2.4. Castillete

En el diseño final del castillete, elemento indispensable en el mantenimiento de catenaria, se definen los siguientes requisitos:

- Capacidad para cuatro personas, herramientas y equipos (500 kg).
- Dimensionado de 2.200 mm (ancho) x 2.400 mm (largo).
- Accionamiento hidráulico.
- Movimientos de elevación y desplazamiento lateral hidráulicos.
- Alcance en altura del piso del castillete de 5.010 mm.
- Alcance lateral de 2.200 mm (desde el eje de la vía).
- Altura libre bajo estructura del castillete de 1.315 mm.

- Altura máxima del piso del castillete en reposo de 2.610 mm.
- Altura del suelo del castillete para posición de circulación de 3.160 mm.
- Barandillas enterizas plegables con una altura de 1.100 mm.
- Barandillas abatibles hidráulicamente.
- Acceso mediante escalera y puerta con recuperación por muelle y cerrojo.
- Suelo de madera con goma antideslizante.
- Iluminación desmontable.
- Mando superior por radio control.
- Mando inferior ubicado en plataforma de carga.
- Existencia de una llave de control para habilitar el mando superior o el inferior.

En base al cumplimiento de los requisitos antes mencionados, se diseña un castillete hidráulico como el que aparece en la figura 3.5.

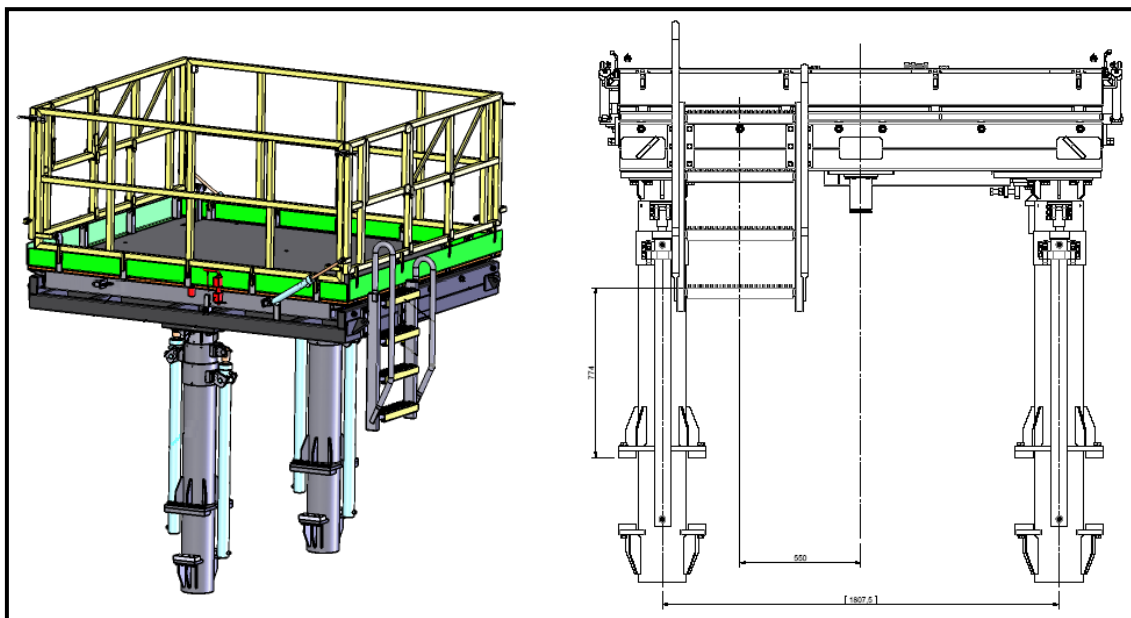


Figura 3.5. Plano de detalle castillete

3.2.2.2.5. Timonería de freno

El sistema de freno de la máquina es por aire comprimido. En cada rueda existe una timonería de freno, convenientemente diseñada y dimensionada, que transmite el esfuerzo del actuador de freno (cámara o pulmón de freno), hasta un par de zapatas que entran en contacto con cada rueda. En la figura 3.6 se detalla una simulación del diseño final alcanzado.

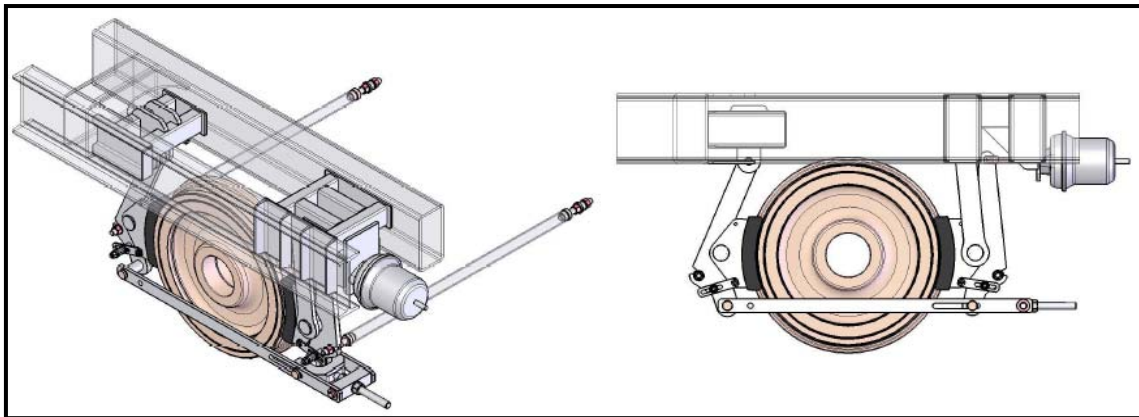


Figura 3.6. Vistas de conjunto timonería de freno

El sistema de freno está basado en sistemas neumáticos de automoción, de accionamiento positivo. Las principales características del conjunto de frenado aparecen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Especificaciones técnicas sistema de frenado

| | |
|--|--|
| Freno estacionamiento | Por muelles (en ausencia de aire) |
| Zapatas y portazapatas | Sinterizadas, perfil U.I.C (2 por rueda) |
| Actuadores de freno (con muelles para estacionamiento) | Wabco T-36/30 |
| Número de actuadores | 1 por rueda |
| Recorrido en el que debe trabajar el actuador | 15 – 60 mm. |
| Presión en calderines | 7.5 bar |
| Presión de sistema a salida de calderines | 7.5 + 0.2 bar |
| Presión de alimentación freno servicio. | 3.3 bar (Vacio) - 3.8 bar (Cargado) |
| Presión para frenada máxima del sistema | 3.8 + 0.0 bar (en actuadores) |

3.2.2.2.6. Transmisión hidrostática

Durante la fase de diseño de detalle, se hace hincapié en el óptimo diseño del circuito hidráulico que compone una transmisión hidráulica para dresinas. En la figura 3.7 se puede observar el conjunto final.

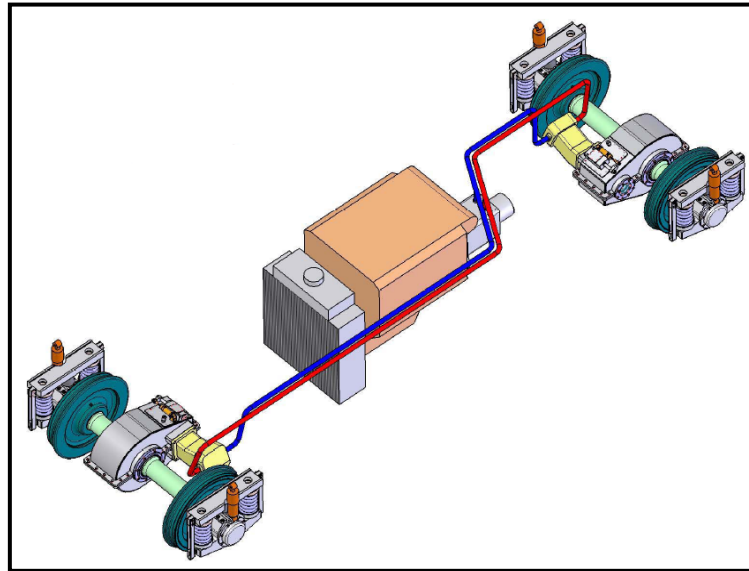


Figura 3.7. Conjunto transmisión hidrostática vehículo dresina

Dos elementos fundamentales dentro de un sistema de transmisión hidrostática son la bomba de control eléctrico y los motores de desplazamientos variables. Las principales especificaciones técnicas, se recogen en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Especificaciones técnicas transmisión dresina

| Bomba | |
|---------------------------|-------------|
| Presión máxima | 510 bar |
| Cilindrada bomba de carga | 68 cc |
| Presión bomba de carga | 39 - 40 bar |
| Motores | |
| Cilindrada | 250 cc |

3.2.2.2.7. Motor

El motor de una dresina está dimensionado en base a un cálculo de potencia de la tracción hidrostática. Las principales especificaciones técnicas aparecen en la tabla 3.4. Se instala un motor de 360 kW, para disponer de un sobredimensionamiento de la potencia efectiva.

Tabla 3.4. Especificaciones técnicas motor

| | |
|---------------------|--------|
| Potencia | 360 kW |
| Alternador | 24 V |
| Capacidad compresor | 600 cc |

En la figura 3.8 se muestra el diseño del motor diesel que monta una dresina.

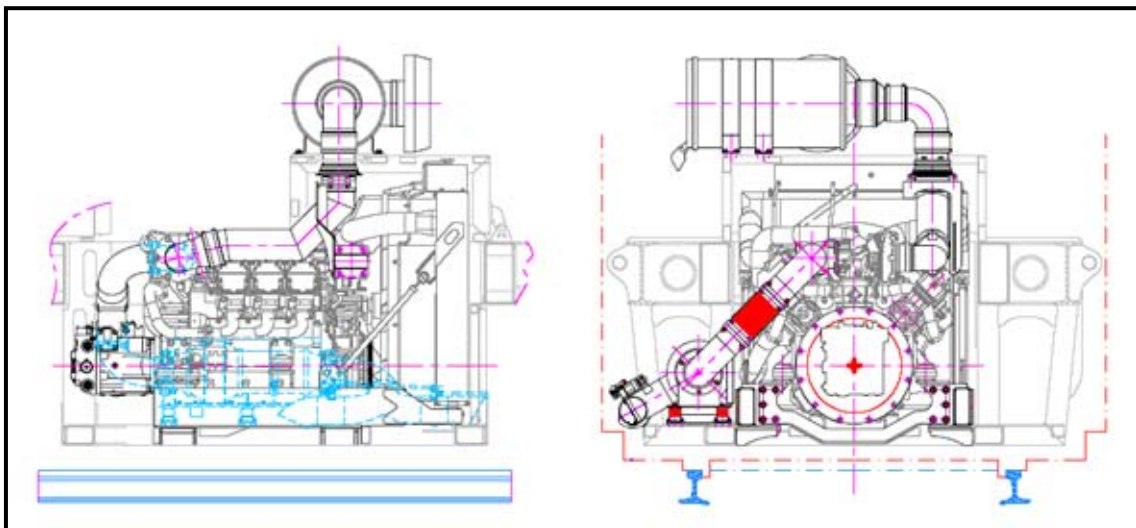


Figura 3.8. Plano de detalle del motor de una dresina



3.2.2.3. Desarrollo del prototipo

A partir del modelo de diseño final de la dresina ferroviaria, obtenido en la anterior fase de trabajo, se comienza otra de las actividades de vital importancia, el desarrollo del prototipo en la línea de montaje. Para llevar a cabo esta tarea, se optimiza la línea de montaje del nuevo prototipo de dresina en una planta real de maquinaria ferroviaria.

Durante los siguientes apartados, se detallará el proceso de fabricación de una dresina para mantenimiento de vía y catenaria por áreas de montaje.

3.2.2.3.1. Situación inicial

La situación anterior de montaje de las máquinas pesadas de vía se realizaba aportando material en un puesto fijo, lo que impedía coordinar de forma simultánea los aprovisionamientos de las piezas, y en ciertos momentos del ensamblado, se llegaba a la duplicidad de tareas y funciones diversas sobre el puesto de trabajo.

La gestión del material para el abastecimiento de la línea de montaje era deficitaria, ya que había momentos en los que no se conseguía localizar el material cuando era necesario debido a una mala gestión del almacén, y era el operario el que acudía a buscar el material en cuestión, abandonando su puesto de trabajo, y por lo tanto, paralizando el proceso productivo.

Al no haber una ubicación fija para cada proceso productivo, se llegaba a la situación de tener que reubicar todos los elementos de la línea cuando una máquina precisaba de una operación que no se podía llevar a cabo en el lugar en el que se encontraba, con la considerable pérdida de tiempo.

3.2.2.3.2. Situación final

La fase de desarrollo en taller del prototipo de dresina, se lleva a cabo a través de la ordenación de las áreas de trabajo distribuidas sobre una planta de montaje. El objetivo primordial que se pretende alcanzar es un proceso de montaje económico, al mismo tiempo que sea más seguro y satisfactorio para los empleados, persiguiendo los siguientes objetivos:

- Elevación de la motivación de los trabajadores.
- Aumentar la seguridad de los operarios.
- Incremento de la productividad.
- Reducción de costes.
- Disminución en los retrasos de la producción.

- ### 3.2.2.3.3. Distribución en planta

87,35 mts.

9,4

3,35

2,5

3

9,425 mts.

14,85 mts.

20,38 mts.

14,60

6

62,45 mts.

40°

Montaje material rodante pesado

3.2.2.3.4. Áreas de montaje

El paso por las diferentes áreas o estaciones de montaje describe el proceso real de fabricación de un prototipo de dresina de control y mantenimiento de vía férrea [6].

Área 1: Almacenamiento y preparación de materias primas (tubos, pletinas, perfiles estructurales, etc.)

La zona de almacenamiento y preparación de materias primas, se destina al acopio de acero para su preparación y posterior utilización en la fabricación de bastidores y estructuras que formarán parte de los vehículos y maquinaria.

La figura 3.10 muestra el almacenamiento de materiales en el área destinada a ello.



Figura 3.10. Área de almacenamiento

Área 2: Área de soldadura y montaje de estructuras (bastidores)

Este sector está dedicado al ensamblaje, mediante soldadura, de las distintas piezas de acero que forman parte de la maquinaria en proceso.

Dispone de equipos de soldadura, tanto de hilo (MIG / MAG), como de electrodo, así como, de un equipo de aspiración de humos de soldadura, para evitar en todo momento que los operarios inhalen los gases producidos como consecuencia de su actividad.

También dispone de borriquetas metálicas, para elevar las estructuras, mejorando la accesibilidad de los operarios para facilitar su trabajo, reduciendo los riesgos de lesiones por posturas inadecuadas.

La figura 3.11 identifica los elementos que forman parte del área de soldadura y montaje.



Figura 3.11. Área de soldadura y montaje de estructuras

- **Montaje de bastidor**

En este área se lleva a cabo el montaje del bastidor de acorde a las siguientes fases:

- a) Soldar la base del bastidor, usando los perfiles normalizados indicados en el plano.
- b) Las soldaduras en zonas críticas, como testeros, gancho y topes, se verifican por el procedimiento de partículas magnéticas.

La figura 3.12 representa el montaje de la estructura del bastidor en taller.



Figura 3.12. Montaje de bastidor en taller

Área 3: Área de ensamblaje de rodadura.

Una vez que se han fabricado los bastidores, se montan y ajustan los sistemas de rodadura. Mediante los puentes grúa, se procede a su unión en esta zona, que también dispone de equipos de soldadura y aspiración de humos.

En este área se lleva a cabo el montaje del sistema de rodadura de la dresina con el fin de optimizar tiempos de ejecución.

- *Montaje de reductores*

El montaje de los reductores en los ejes, se hace teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- a) Verificar las medidas nominales de corona y eje antes del montaje, y la correcta medida de chaveta de eje.
- b) Montar la corona de forma que haga tope con el escalón destinado para tal fin, apretando la cara de la corona con la tuerca y comprobando que no existen holguras radiales ni axiales en el montaje eje-corona, ni en el desplazable.
- c) Verificar el montaje de rodamientos y retenes, comprobando los aprietes y el sellado del reductor.

La figura 3.13 recoge en detalle el posicionamiento de los engranajes del reductor.



Figura 3.13. Montaje de engranajes del reductor

- ***Calado de ruedas***

Una vez montados los reductores, se procede al calado de las ruedas sobre los ejes de la dresina. Este proceso se lleva a cabo en los siguientes pasos:

- a) Verificar que las medidas nominales de eje y ruedas antes de realizar el calado, y que la cota final de calado está dentro de la medida marcada y tolerada.
- b) Montar las ruedas, haciendo coincidir la chaveta con el chavetero, y comprobando el paralelismo entre ambas ruedas.

- ***Montaje cajas de grasa***

El último elemento del sistema de rodadura a montar son las cajas de grasa, las guías y las suspensiones en los extremos de los ejes verificando:

- a) Las dimensiones de todas las piezas que forman el conjunto.
- b) Que los rodamientos no tengan movimiento radial ni axial.
- c) El suave giro del eje sobre las cajas de grasa.

La figura 3.14 muestra una caja de grasa para una dresina de mantenimiento de vía y catenaria en proceso de desarrollo en la línea de montaje.



Figura 3.14. Montaje cajas de grasa en taller

Una vez montados los reductores, cajas de grasa y el calado de las ruedas, se procede al montaje de estos elementos sobre el bastidor teniendo en cuenta:

- a) El paralelismo de los ejes, en sentido transversal de la máquina, verificando la distancia entre ejes.
- b) Las ruedas del mismo lado deben estar en el mismo plano transversal a los ejes.

En la figura 3.15 se muestra el sistema completo de rodadura montado en el bastidor.



Figura 3.15. Montaje de sistema de rodadura



Área 4: Área de montaje mecánico.

Es el lugar destinado al ensamble de todas las piezas (timonería de freno, cabina, grúa, castillete, etc.), que bien, mediante fabricación propia han sido realizadas en la zona de soldadura, o bien han sido suministradas por los proveedores.

Para facilitar la labor de los operarios, se utilizan unas borriquetas para elevar la maquinaria, y hacer que el trabajo sea más cómodo, incrementando los niveles de seguridad y satisfacción en los empleados.

- *Montaje timonería de freno*

En esta área de trabajo se inicia el montaje de la timonería de freno. La timonería es la encargada de aplicar el esfuerzo de frenado a las zapatas, está diseñada para eliminar las holguras producidas por el desgaste de zapatas y calculadas para que no tengan deformaciones. Durante su montaje se deben seguir los siguientes pasos:

- a) Realizar la soldadura del conjunto de freno.
- b) Soldar soporte del conjunto de freno en la plataforma.
- c) Taladrar el conjunto freno.
- d) Montar biela con arandelas distanciadoras.
- e) Montar zapata sobre biela.
- f) Montar el sistema de freno sobre el bastidor.
- g) Montar el actuador neumático sobre el conjunto de freno (en un eje actuadores de servicio y en el otro eje actuadores de servicio y estacionamiento).

Durante la ejecución de los diferentes pasos antes mencionados, se debe verificar:

- h) El correcto ensamblaje de la timonería de freno, comprobando el giro suave de los ejes de la biela de giro sobre su soporte, y el giro suave de los brazos de freno sobre su soporte de giro.
- i) Que la zapata pisa sobre la zona de rodadura de la rueda.
- j) El despegue de la zapata a la rueda al no estar accionado el freno.
- k) La vuelta a la posición de reposo, una vez dejado de accionar el freno.
- l) El correcto recorrido del actuador de freno en la acción de frenada.

m) La recuperación de la timonería por acción de los muelles.

- ***Montaje cabina de mando***

Una vez montada la timonería de freno, se lleva a cabo el montaje de la cabina de la dresina. Para llevar a cabo este cometido, se utilizan tubos cuadrados y estructurales. Las fases del montaje se detallan a continuación:

- a) Se soldarán las chapas a la estructura de la cabina, verificando la planitud de la chapa. Se colocarán perfiles omega para evitar deformaciones en la chapa.
- b) La cabina se aislará perfectamente con el material correspondiente, utilizando aislante con velo para el interior, y sin velo para el exterior, verificando los grosores. Finalmente se coloca la chapa perforada de aluminio, verificando los remates de empalmes y esquinas.
- c) El resto de elementos (asientos, pupitres, ventanas, etc.) se montan atendiendo a la ergonomía, el fácil acceso y su correcta posición. Se prestará especial atención al montaje y ajuste de ventanas y puertas, verificando sus dimensiones y hermeticidad.
- d) Una vez esté terminada la cabina se procede a su ubicación encima del bastidor principal, como muestra la figura 3.16, verificando la correcta ubicación de los elementos de amarre en cabina y comprobando el correcto anclaje de la cabina al bastidor.



Figura 3.16. Montaje de cabina sobre bastidor



- ***Montaje caja de carga***

Para la caja de carga se utilizan los perfiles y chapas correspondientes, verificando las dimensiones generales y comprobando visualmente la soldadura.

Una vez que se haya ensamblado la caja de carga se procede a montarla y fijarla al bastidor, verificando:

- a) El correcto anclaje de la caja de carga al bastidor.
- b) El correcto funcionamiento de los laterales y la no colisión de los mismos con otros elementos del bastidor.

- ***Montaje depósitos hidráulicos y de combustible***

El montaje de los depósitos se realiza mediante la ejecución de las siguientes fases:

- a) De acuerdo a las dimensiones se cortan las chapas que conforman los distintos depósitos, para posteriormente soldarlas.
- b) Al conjunto principal se le sueldan el resto de elementos correspondientes (valonas, marcos de las tapas, etc.), poniendo especial cuidado en las dimensiones.
- c) Una vez terminado todo el proceso de soldadura de los depósitos, se granallan para eliminar los restos de óxidos e impurezas que hayan podido quedar en las chapas.
- d) Se realiza una limpieza interior antes del pintado, y se comprueba la estanqueidad mediante un compresor de aire.
- e) Una vez terminados los depósitos, incluido el pintado, se colocan en el bastidor aplicando a los tornillos el correcto par de apriete.

- ***Acoplamiento del castillete***

El castillete a instalar en la dresina se compone de los subconjuntos siguientes:

- Plataformas superior, intermedia y base.
- Conjunto de transmisión para desplazamiento lateral.
- Conjunto de columnas guía.
- Conjunto de cilindros de elevación.



- Circuito eléctrico.
- Circuito hidráulico.

En la fabricación y montaje de las plataformas, se deben comprobar las medidas generales y verificar la igualdad de medida de las diagonales. Una vez ensambladas las tres plataformas, se debe comprobar que:

- a) No existen holguras en las ruedas de guiado de las plataformas.
- b) Las ruedas de guiado giran correctamente.
- c) La tensión de la cadena es correcta.
- d) Una vez montado el castillete en la dresina, se debe comprobar el perfecto amarre, la horizontalidad del castillete y verificar el suave ascenso y descenso.

- ***Montaje elementos auxiliares***

Sobre el bastidor se instalan los conjuntos de topes y ganchos mediante el siguiente proceso:

- a) Realizar soldadura de topes.
- b) Realizar el montaje de los topes.
- c) Ubicar topes en la dresina, según medidas normalizadas.
- d) Soldar costilla refuerzo de topes.
- e) Se deben comprobar los pares de apriete y verificar el recorrido angular del tope.

Para la fabricación y montaje de los areneros, tolvas y elementos de eyección, se procede de la siguiente forma:

- a) Se fabrican los areneros de acuerdo a las dimensiones indicadas en los planos,
- b) Se realiza una inspección visual de la soldadura.
- c) Comprobar el buen abatimiento y cerramiento de la tapa de la tolva.
- d) Una vez realizada la instalación neumática-eléctrica, se debe comprobar el correcto funcionamiento de la eyección de arena.

- e) Comprobar el correcto anclaje de la tolva al bastidor.

Área 5: Área de montaje hidráulico y neumático

Paralela a la zona de montaje eléctrico y mecánico se encuentra la zona de montaje hidráulico y neumático. Cada puesto cuenta con una toma de aire comprimido, así como con las herramientas necesarias para el montaje de las líneas hidráulicas y neumáticas, así como elementos de medición y ensayo (grupo motobomba, manómetros, etc.). En la figura 3.17 se muestra un ejemplo actividad en esta área.



Figura 3.17. Montaje hidráulico

En esta zona también se ubican mediante estanterías móviles, debidamente colocados e identificados, todos los terminales y racorería necesarios para que la distancia que tenga que recorrer el empleado sea la mínima.

- ***Montaje del conjunto motor diesel – bombas de transmisión hidráulica***

En el montaje del motor diesel y las bombas de transmisión hidráulica se deben tener en cuenta las dimensiones (diámetros de centrado, elementos que no colisionen, etc.) de todos los elementos a acoplar, comprobando que la bomba acopla perfectamente en la campana y haciendo un correcto ajuste de acoplamiento del flector y comprobando su holgura.

- a) El conjunto se debe amarrar al bastidor, aplicando a los tornillos el correcto par de apriete y verificando el anclaje del conjunto. Entre el motor y el bastidor se deben ubicar los tacos amortiguadores.
- b) La instalación hidráulica se monta teniendo en cuenta el correcto conexionado e identificación de los extremos de los latiguillos y prestando especial atención al sentido de giro.
- c) La puesta en marcha del motor diesel se hace habiendo comprobado antes los niveles de refrigerante, combustible, etc. Se debe comprobar el certificado de teste del motor en fábrica antes de arrancar.
- d) Se verifica el redondeo del motor a bajas vueltas (régimen de vueltas).

La figura 3.18 muestra el motor que utiliza el prototipo de la dresina.



Figura 3.18. Conjunto motor diesel dresina

- ***Colocación pantógrafo***

Para la colocación del pantógrafo se debe verificar la correcta ubicación de los soportes en la dresina, además de comprobar la ubicación del resto de los elementos neumáticos (válvulas, calderines, etc.) necesarios para su funcionamiento, las secciones, ubicaciones y marcado de las tuberías.

Una vez instalado el pantógrafo, se comprueba el funcionamiento suave y uniforme en subida y bajada del mismo.



- *Instalación circuito neumático*

Una vez realizado el montaje del circuito, se deben hacer comprobaciones de estanqueidad y funcionamiento (con diferentes frenadas), así como verificar presiones, recuperación de presiones, funcionalidad, tanto cuando es vehículo motor, como cuando es remolcado por TFA.

- *Instalación circuito hidráulico*

La instalación óptima del circuito hidráulico se realiza siguiendo los siguientes pasos detallados:

- a) Realizar el montaje hidráulico para los distintos elementos de la dresina.
- b) Se cargan los datos en el microprocesador del sistema hidráulico de tracción.
- c) Una vez realizada la instalación hidráulica, se deben realizar pruebas el circuito, comprobando las presiones del sistema y los datos cargados en el microprocesador del sistema de tracción.

Área 6: Área de montaje eléctrico

A continuación del área de montaje mecánico, se sitúa la zona de montaje eléctrico para poder simultanear, cuando la ocasión lo requiera, el montaje mecánico y eléctrico. También dispone de borriquetas, para que, mediante la ayuda de los puentes-grúa, elevar la maquinaria y que los obreros puedan trabajar con comodidad debajo de la maquinaria.

Una vez realizada la instalación eléctrica de la dresina, se debe hacer una comprobación general de todo el sistema eléctrico, verificando las tensiones de los elementos críticos de la máquina.

En la figura 3.19 se muestra el cableado de la cabina de una dresina.



Figura 3.19. Cableado eléctrico cabina

Área 7: Área de ajustes

Aquí se ensamblan los componentes que necesitan un ajuste preciso, como cajas de grasa, reductoras y sistemas de rodadura. Dispone de toda clase de equipos de medición y ensayo debidamente calibrados (pie de rey, micrómetros, alexómetros, calentadores de rodamientos por inducción, medidores de par electrónicos, tacómetro digital, etc.), así como, de dos tornos para el mecanizado de las piezas que lo requieran para lograr un ajuste perfecto.

Área 8: Área de pintado

En esta área de trabajo se localiza una cabina de pintura donde se preparan y pintan todos los componentes y piezas, mediante pistolas impulsadas por aire comprimido. Es una cabina con sistema de extracción de los vapores producidos durante el proceso de imprimación y pintura.

En la figura 3.20 se puede observar la cabina de pintura utilizada.



Figura 3.20. Cabina de pintura

- Proceso de pintado
 - a) Antes de realizar cualquier proceso de imprimación o pintura, se deben proteger, mediante papel, plástico o similares, las zonas que no deben ser pintadas (latiguillos, mandos, etc.).
 - b) Una vez protegidas las zonas necesarias, para evitar imperfecciones, se aplica una masilla poliéster bi-componente (emplaste) y se procede al lijado con lija de grano grueso (80 – 150) para eliminar restos de óxidos e impurezas y las imperfecciones que se pudiesen encontrar, y lograr así una mejor apariencia en el acabado de la pieza. Terminado el lijado se limpian los restos de polvo, grasa y demás elementos que no permitan una buena adherencia de la pintura y se procede a dar la imprimación.
 - c) La imprimación se debe preparar atendiendo a las indicaciones del fabricante, y siempre teniendo en cuenta las normas de seguridad. Se aplicará la imprimación con la pistola, y de dejará secar al aire (40° - 50°) durante un tiempo aproximado de 30 a 45 minutos.
 - d) Una vez seca la primera capa de imprimación, se lija para retocar mediante emplaste las zonas en las que se observen imperfecciones. Tras un lijado general para conseguir una buena adherencia, se procede a aplicar la segunda capa de imprimación, con los mismos parámetros aplicados en la primera capa.



- e) Para aplicar el acabado se procede de manera similar a la imprimación, se realiza un lijado de la superficie a pintar con lija de grano fino (320), se limpia y se aplica una primera mano de pintura de poliuretano bi-componente, dejando secar a una temperatura de 80 ° - 100° durante un tiempo de entre 1 hora y 1 ½ horas.
- f) Una vez seca la primera capa de acabado, se da un lijado general con lija de grano fino (320), y se aplica una segunda capa de pintura, que se dejará secar durante 2 horas a una temperatura de 80° - 100°.

En la figura 3.21 aparece una secuencia del proceso de pintado de una dresina.



Figura 3.21. Proceso pintado cabina dresina

Área 9: Almacén y zonas de almacenamiento

En el almacén y zonas de almacenaje se ubica toda la mercancía necesaria para no interrumpir la línea de producción por falta de material.

Se ha modificado el procedimiento por el que el material llega a la línea de producción, pasando de un sistema en el que el operario iba al almacén a solicitar el material necesario, a un sistema en el que se planifican con tiempo las necesidades de material, para que este sea suministrado en tiempo y forma a la línea de producción, evitando los desabastecimientos y reduciendo los tiempos de producción.

Para lograr una mayor eficiencia y evitar las roturas de stock, se ha procedido a la ordenación y codificación de todos los materiales, como muestra la figura 3.22, asignándoles mediante un código alfanumérico, una ubicación dentro del almacén y en el sistema informático, con la finalidad de la pronta localización y que los tiempos de suministro a la línea de montaje se vean reducidos.



Figura 3.22. Almacenamiento línea de montaje

Área 10: Área de expedición y recepción.

En esta zona se deposita la maquinaria una vez el montaje ha concluido en su totalidad.

También se ha procedido al traslado de los residuos del interior de la nave a un punto limpio fuera de ésta, adecuadamente protegido del sol y de la lluvia, donde se depositan los residuos, tanto peligrosos como no peligrosos, segregados correctamente, con el fin de contribuir a la conservación medioambiental, aumentar el espacio disponible dentro de la nave, evitar accidentes y controlar mejor la gestión de los residuos, lo que lleva asociado una reducción de costes.

3.2.2.3.5. Resultados del proceso de montaje de un prototipo de dresina ferroviaria

Al reducir costes y aumentar la productividad, se pueden reducir los precios permitiendo ser más competitivos en los mercados suministrando productos de más calidad en un tiempo más reducido, respetando la seguridad y el medio ambiente.



Para el diseño y fabricación del prototipo comentado, se aplican las normas vigentes de FOMENTO, RENFE, ADIF, UIC, UNE, ISO y CEN:

- Norma Europea prENV-14033-1 “Condiciones para la homologación de máquinas para la construcción y mantenimiento de la vía” redactada por el grupo CEN TC 256.
- EN 292-1 y 2 “Seguridad de maquinaria. Conceptos básicos, criterios generales de diseño”.
- EN 294 “Seguridad de maquinaria. Distancias de seguridad para evitar alcanzar áreas peligrosas”.
- EN 418 “Seguridad de maquinaria. Aparatos para parada de emergencia, aspectos funcionales, principios de diseño”.
- EN 982 y 983 “Seguridad de maquinaria. Requerimientos de seguridad relacionados con los sistemas y sus componentes para transmisiones hidráulicas y neumáticas”.
- EN 60204 “Seguridad de maquinaria. Equipos eléctricos para máquinas. Parte 1 y 2”.

3.2.3. FASE III: PRUEBAS Y ENSAYOS. VALIDACIÓN FINAL

En la tercera fase del proyecto, se realizan una serie de pruebas para determinar el funcionamiento y acoplamiento de los sub-conjuntos de la maquinaria.

En primer lugar, se realizan las pruebas del prototipo para comprobar la alineación, los ciclos de funcionamiento entre sub-fases, etc.

Una vez corregidas las incidencias en un entorno acotado, se traslada la maquinaria a unas instalaciones adecuadas donde se realizan pruebas en un entorno real, y donde se comprueba el funcionamiento del prototipo.

La figura 3.23 muestra el resultado final de un prototipo de dresina ferroviaria una vez superadas las diferentes áreas de montaje.



Figura 3.23. Montaje dresina completado

Los ensayos tienen el objetivo de analizar la estabilidad y calidad del prototipo en su conjunto, fueron los siguientes:

- Análisis de estructura: La estabilidad de la maquina fue satisfactoria.
- Comprobación de resistencia de materiales en su conjunto integrado. Los resultados fueron exitosos.
- Análisis dinámico de la estructura. Se comprobaron cargas, tensiones... Exitoso
- Análisis de impactos a alta frecuencia. Exitoso.
- Análisis de fatiga. Exitoso.
- Análisis vibracional. Exitoso.
- Debido a que en el sector existen unas disposiciones legales que han de cumplir las maquinarias rodantes auxiliares, donde se incluye la dresina, se completó la fase con pruebas y ensayos para obtener la declaración de CE de verificación donde se indica de



forma oficial que el prototipo cumple dicha normativa y que cumple las especificaciones técnicas homologadas (ETH).

3.2.4. FASE IV: ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LOS RESULTADOS

Finalmente en un proyecto de investigación de estas características, se analiza si se han alcanzado los objetivos principales:

- Reducción de los costes de operación y de mantenimiento en vías ferroviarias y tendido eléctrico - catenaria. Con el desarrollo de esta dresina se alargarán los ciclos de mantenimiento y por lo tanto se contribuirá, de manera global, a la reducción de costes de mantenimiento ferroviario.
- Incorporación de las últimas tecnologías de sistemas de medidas.
- Optimización de la seguridad y de la funcionalidad del vehículo. Se ha obtenido según normativa europea vigente en materia de seguridad y de manera que pueda satisfacer las necesidades del personal ferroviario.
- Aplicación de las normas vigentes tanto europeas como nacionales, permitiendo reconocer la calidad y el buen acabado del prototipo, así como, la validación y homologación por los organismos competentes.

CAPÍTULO 4

CÁLCULOS DE DISEÑO DE COMPONENTES

En este capítulo, se recoge el fundamento del Proyecto Fin de Carrera, no es otro que aplicar una metodología de cálculo en el diseño de elementos estructurales de un vehículo ferroviario destinado al control y mantenimiento de vía y catenaria.

El objetivo del Proyecto Fin de Carrera es obtener, durante la fase de diseño, elementos que cumplan con los requisitos de seguridad necesarios para diferentes hipótesis de carga en las zonas más solicitadas de cada elemento.

Este capítulo describe de qué forma se ha realizado el estudio de cada componente, determinando las diferentes hipótesis de carga actuantes y restricciones aplicadas a la hora de conocer las zonas de mayor sollicitación.

Los cálculos reales presentados corresponden a tres componentes, bastidor, rueda y eje motor, de una dresina desarrollada en una línea de montaje de vehículos ferroviarios. Los componentes, objeto de estudio, están sometidos a condiciones de trabajo exigentes durante su vida útil.

4.1. BASTIDOR

4.1.1. INTRODUCCIÓN

El cálculo del bastidor, en sus diferentes estados de carga, se ha realizado usando la metodología de los elementos finitos (MEF), mediante el programa de cálculo COSMOSWorks.

Para todos los estados de carga se han realizado estudios estáticos lineales, y los materiales de cálculo se consideran isótropos lineales, tienen las mismas propiedades mecánicas en todas las direcciones, como es el caso del acero.

Para facilitar los cálculos, debido a que el bastidor es simétrico, se simplifica la estructura sólo a la mitad del modelo. De cara a obtener unos resultados correctos, tanto las restricciones como las cargas verán modificado su valor teniendo en cuenta la simetría detectada. En la figura 4.1 se presenta el modelo de cálculo.

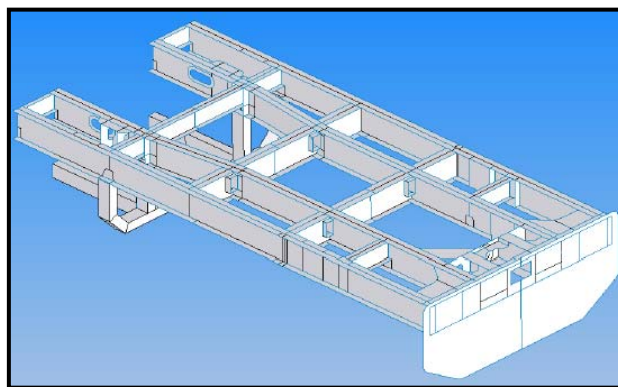


Figura 4.1. Modelo de cálculo del bastidor de una dresina

4.1.2. DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO

Para la resolución de un modelo de cálculo aplicando la teoría de los elementos finitos es necesario definir, para cada elemento del modelo, el material, las propiedades mecánicas y las restricciones del modelo, para que al menos sea un sistema isostático, aunque también puede ser hiperestático. Una vez definidos los materiales y las restricciones, se definen las cargas.

4.1.2.1. Materiales

Para la fabricación del bastidor de una dresina se usan dos tipos de acero:

- S 355 JR para la placa del gancho de tracción, cuya resistencia es de 355 N/mm².
- S 275 JR para los largueros IPN 300, las placas y cartelas de refuerzo, con una resistencia de 275 N/mm².

4.1.2.2. Mallado

Se llama mallado a la forma en la que se descompone el sistema a calcular en un número finito de elementos. En este caso, se ha utilizado un mallado tipo placas para superficies, este tipo de mallado es el adecuado cuando, como en este caso, se quieren mallar elementos que tienen dos de sus dimensiones mucho más grandes que el espesor.

La información descriptiva de la malla utilizada se recoge en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Principales características del mallado utilizado

| Tipo de malla: | Malla con elementos SHELL de superficies y caras |
|-------------------------|--|
| Mallador utilizado: | Estándar |
| Transición automática: | Desactivar |
| Superficie suave: | Activar |
| Verificación jacobiana: | 4 Points |
| Tamaño de elementos: | 60 mm |
| Tolerancia: | 3 mm |
| Calidad: | Alta |
| Número de elementos: | 30726 |
| Número de nodos: | 15029 |

La malla utilizada en el diseño del bastidor de una dresina es la misma para todos los estados de carga. El resultado del mallado aplicado sobre los elementos que componen la estructura del bastidor se muestra en la figura 4.2.

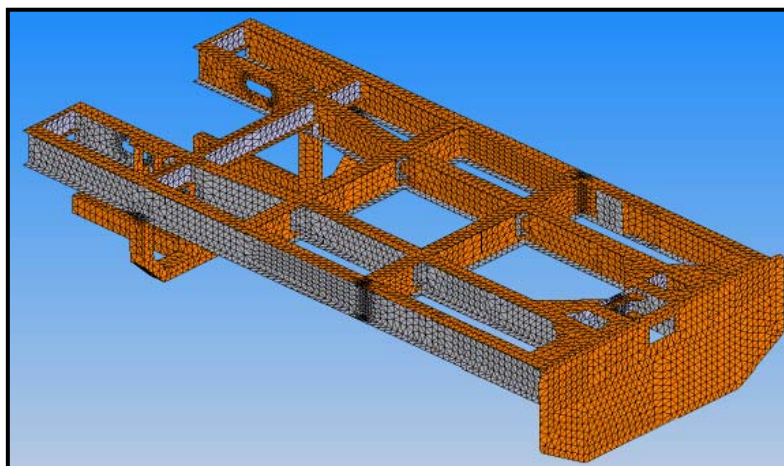


Figura 4.2. Simulación del mallado de la estructura del bastidor



4.1.2.3. Restricciones

Las restricciones son diferentes para cada caso de carga, de tal manera que se simule de la manera más cercana posible lo que ocurre en la realidad. Las restricciones se consiguen limitando los desplazamientos y los giros de los elementos que interesen. En el apartado 4.2.3 se explica con más detalle las restricciones usadas en cada caso de carga.

4.1.2.4. Método de cálculo

Una vez planteado el problema, este se resuelve usando un solucionador o *solver*, que se encarga de resolver el sistema matricial que se genera. En este caso se ha usado un *solver* del tipo FFEPlus.

4.1.3. CÁLCULOS

El cálculo del bastidor de una dresina se divide en varios estados de carga [7]:

- Modo de trabajo.
- Compresión del bastidor sobre topes.
- Tracción sobre gancho.
- Izado exterior.
- Placas de izado.
- Rigidez torsional.

4.1.3.1. Modo de trabajo

En este estado de carga se ha incluido el peso de todos los elementos que irán sobre el bastidor, su peso propio, así como, la carga máxima que puede transportar. Las cargas se han puesto de una forma uniformemente repartida, de la forma más parecida a la realidad. En las figuras 4.3 y 4.4 se visualiza la distribución resultante de las cargas actuantes sobre el bastidor.

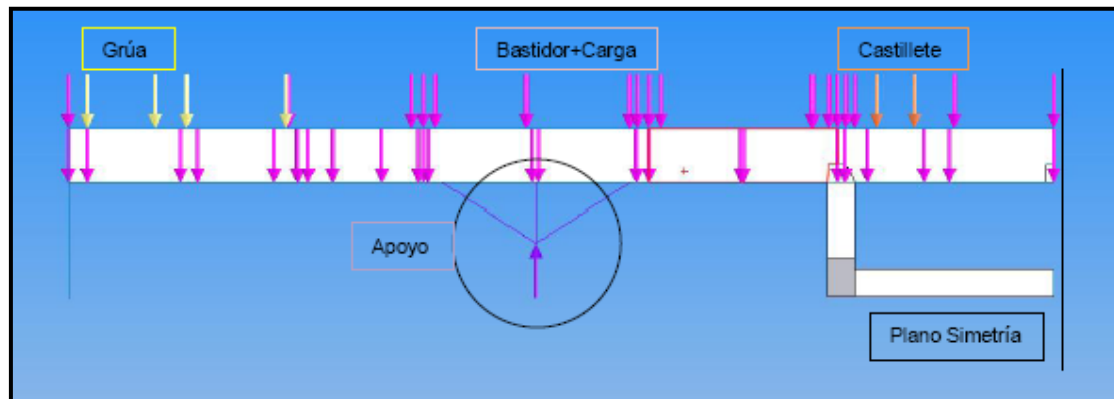


Figura 4.3. Cargas soportadas por el bastidor en modo de trabajo

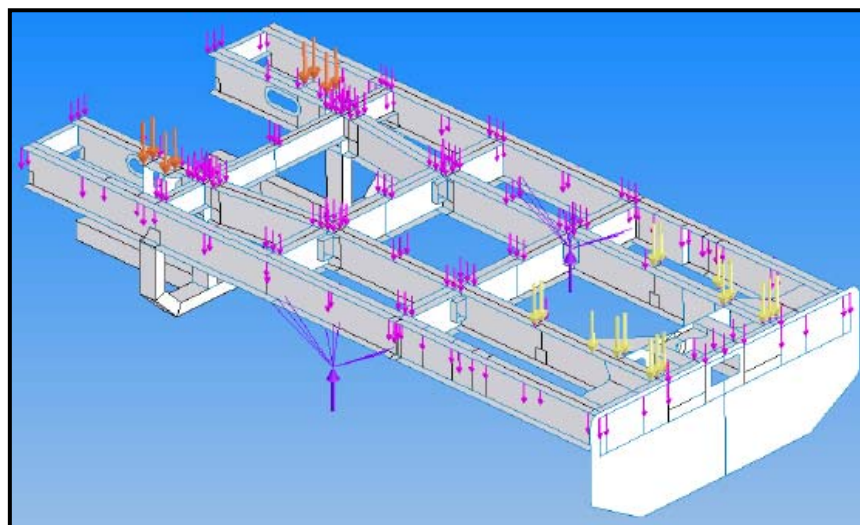


Figura 4.4. Vista superior estado de cargas en modo de trabajo

Las cargas que se han tenido en cuenta han sido las siguientes:

- Bastidor + Carga: se ha considerado el peso del bastidor con todos los elementos pequeños que están sobre él, lo que hace un total de 20.000 Kg (carga superior a la real).
- Grúa: una carga de 4.000 Kg en el extremo del bastidor.
- Castillete: una carga de 2.500 Kg en la unión del castillete con el bastidor.

Los resultados del cálculo del estado de cargas que soporta el bastidor se interpretan a partir de las siguientes imágenes:

- En las figuras 4.5 y 4.6 se muestra la flecha máxima que adoptará el bastidor con esta hipótesis de carga.

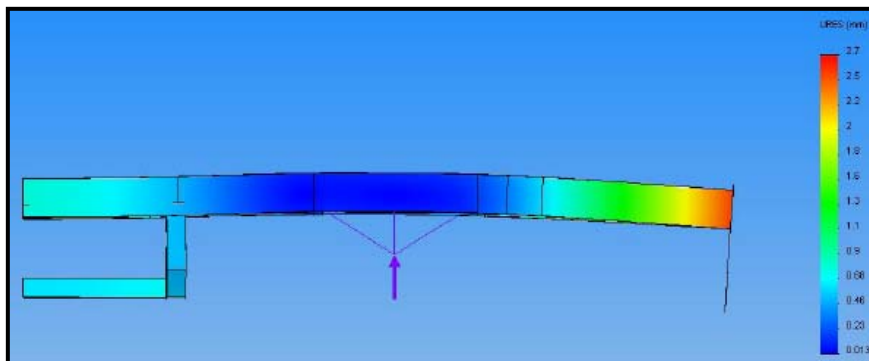


Figura 4.5. Vista lateral desplazamiento (flecha máxima) resultante en modo de trabajo

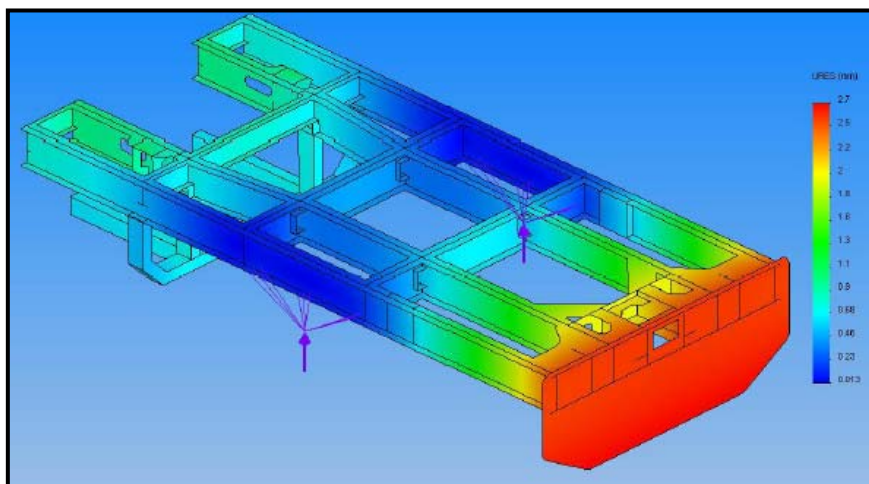


Figura 4.6. Vista superior desplazamiento (flecha máxima) resultante en modo de trabajo

- En la figura 4.7 los esfuerzos máximos se localizan en la unión de las cajas de grasa con el bastidor donde se apoya el castillete; estos esfuerzos no superan los 83 N/mm^2 , muy por debajo de los 275 N/mm^2 que resiste el material con menores propiedades mecánicas usado en la fabricación del bastidor.

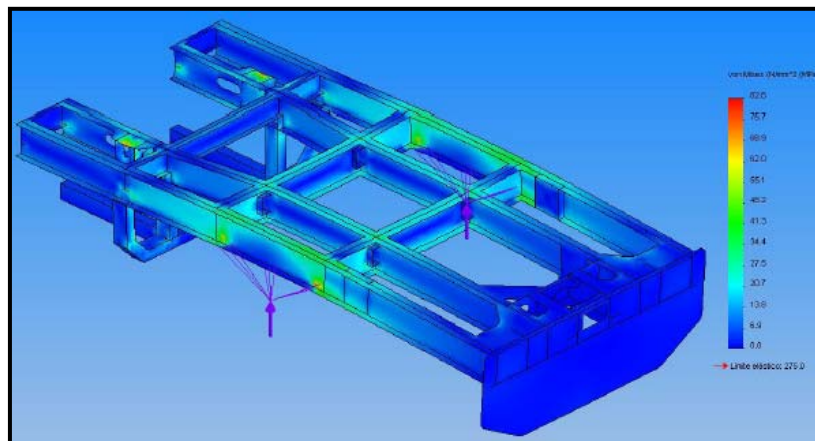


Figura 4.7. Esfuerzos máximos resultantes en modo de trabajo

Observando los resultados, la flecha máxima alcanzada está muy por debajo de los requerimientos de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC 577 OR “Especificación Técnica de Homologación de Material Rodante Ferroviario”) de 1‰ de la distancia entre apoyos.

En las imágenes de los desplazamientos, se ha escalado 50 veces la deformación del bastidor, para poder apreciar la manera en la que se deformaría.

En este estado de carga los resultados obtenidos, tanto de los esfuerzos máximos, como los de flecha máxima, cumplen con los requisitos técnicos. Se puede decir que el bastidor, para los esfuerzos normales de funcionamiento, es válido.

4.1.3.2. Compresión del bastidor sobre topes

Para el estado de carga de compresión del bastidor, se ha considerado una carga a compresión de 1.000 KN, entendiéndose que estos esfuerzos, en caso de darse, se transmitirán al bastidor a través de los topes ferroviarios.

Los esfuerzos de compresión son de 1.000 KN aplicados sobre cada tope, considerando el plano de simetría del bastidor como fijo, ya que así se comportaría en caso de tener cargados también los topes del otro extremo.

En la figura 4.8 se simula la distribución de cargas que soporta el bastidor de una dresina durante un estado de compresión.

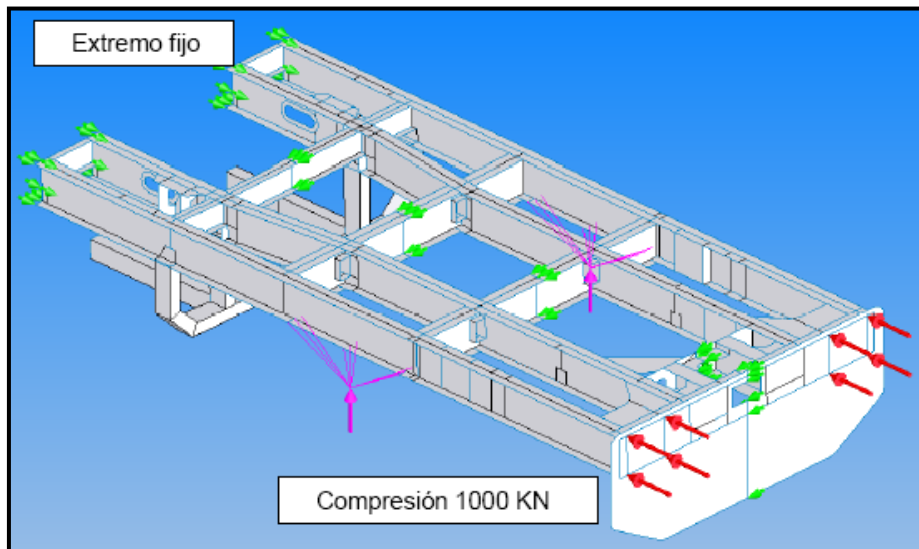


Figura 4.8. Cargas a compresión soportadas por el bastidor

En este caso, como se trata de algo muy puntual la única condición a tener en cuenta es que los esfuerzos resultantes del cálculo estén dentro del campo elástico de los materiales, no siendo tan importante la flecha alcanzada.

En la figura 4.9 se distingue que todos los puntos del bastidor están por debajo del límite elástico de 275 N/mm², las cargas máximas que se aprecian no superan en ningún caso los 170 N/mm². Este resultado confirma que el bastidor supera el estado de cargas a compresión.

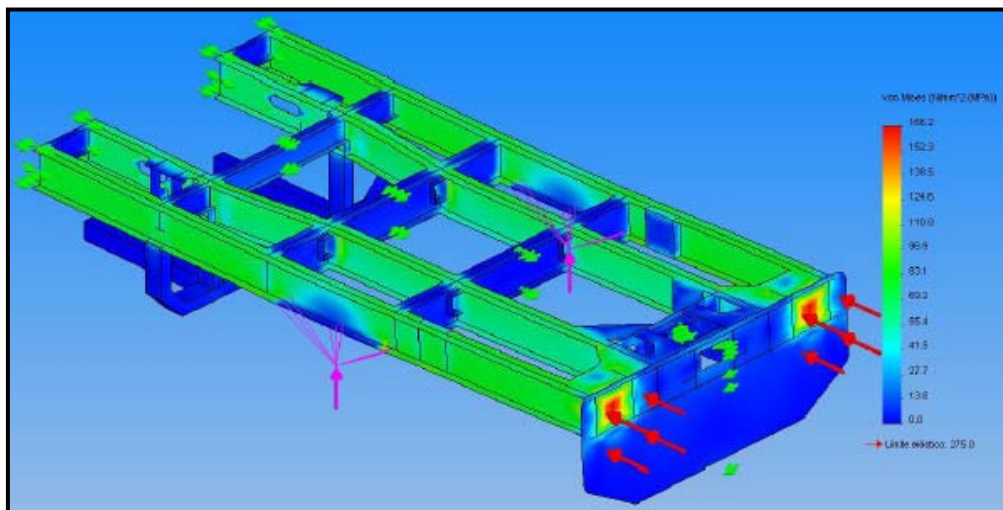


Figura 4.9. Esfuerzos máximos resultantes a compresión

4.1.3.3. Tracción sobre gancho

El estado de tracción somete al bastidor de una dresina a una carga de 1.000 KN aplicada en el enganche ferroviario; carga muy superior a las que se verá sometido a lo largo de su vida útil. La carga se aplicará en un extremo del bastidor a la altura como muestra las figura 4.10.

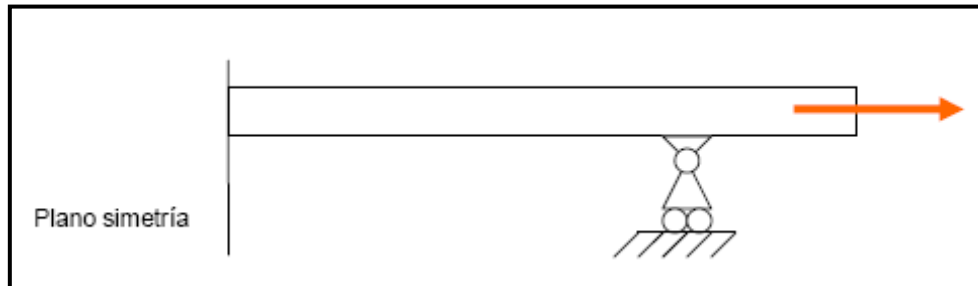


Figura 4.10. Representación esquemática de restricciones y fuerzas

De manera más visual, la figura 4.11 detalla el posicionamiento de la carga a tracción, así como, las restricciones aplicadas.

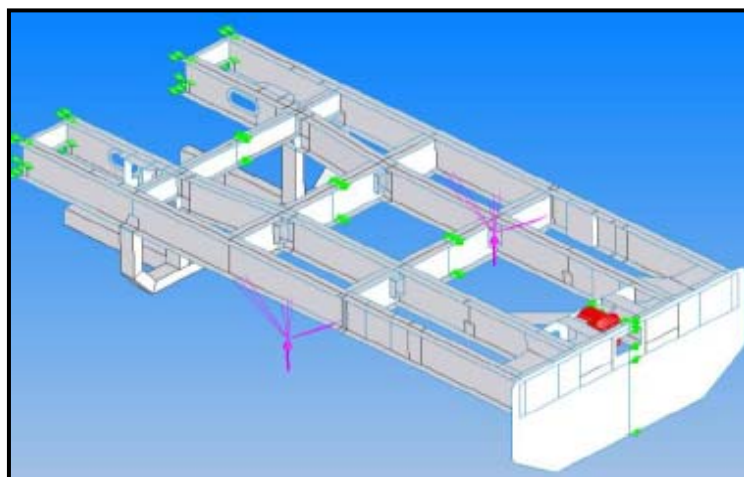


Figura 4.11. Cargas a tracción soportadas por el bastidor

Los resultados de este cálculo se interpretan a partir de las imágenes resultantes:

- En la figura 4.12, la tensión máxima alcanzada está en torno a los 355 N/mm², esto se da en las piezas de material S 355 JR, que es capaz de aguantar estas tensiones dentro del campo elástico.

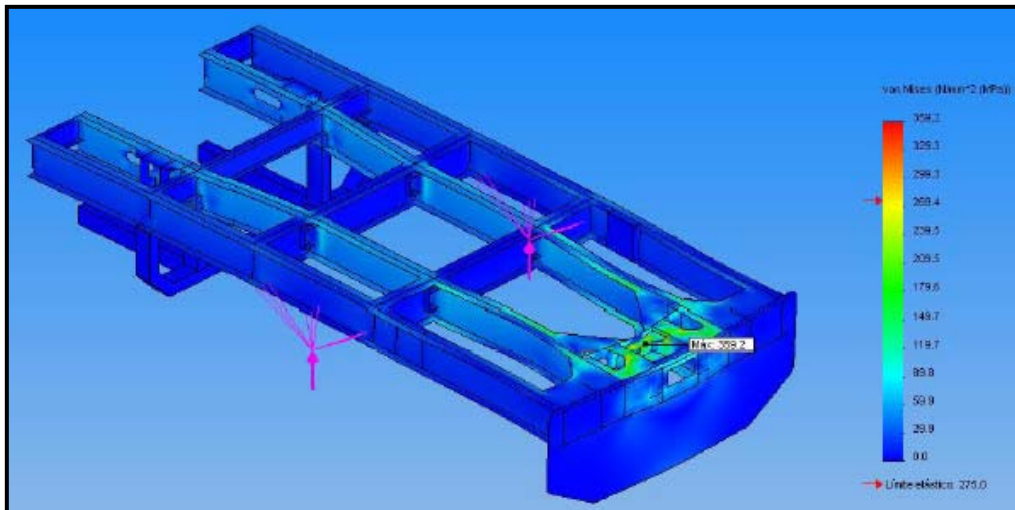


Figura 4.12. Esfuerzos máximos resultantes a tracción

- Aunque en esta hipótesis de carga no existe el condicionante de una flecha o deformación elástica, a cumplir por parte del bastidor, se muestra la forma que adoptaría el bastidor con esta carga. Hay que tener en cuenta que la escala de las deformaciones está aumentada hasta 50 veces, para poder apreciar la deformación ocasionada. En la figura 4.13 aparece la forma adoptada por el bastidor debido a los esfuerzos de tracción.

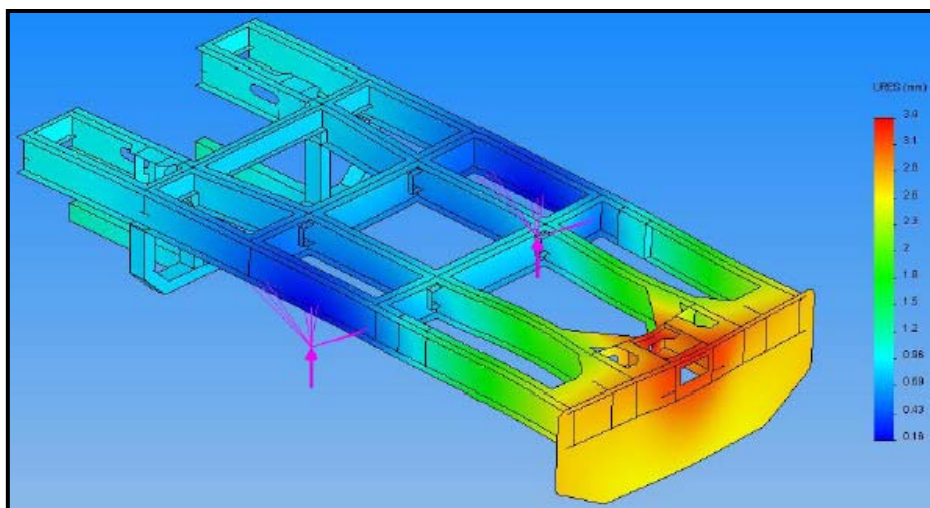


Figura 4.13. Desplazamiento (flecha máxima) resultante a tracción

La máxima deformación tendría un valor de 3,4 mm en la zona del enganche ferroviario, como no podía ser de otra forma.

Se puede decir que el bastidor diseñado aguantaría, para los requerimientos de su vida útil, una carga de tracción de hasta 1.000 KN, aplicada en sus enganches ferroviarios de tracción.

4.1.3.4. Izado exterior

Para el izado de la máquina mediante grúas, se sueldan en los laterales del bastidor cuatro orejetas, para la colocación de grilletes, como se indica en la figura 4.14. Se considera que el izado se debe hacer perpendicular al plano del bastidor, ya que es necesario evitar los laterales en las operaciones de izado, con cables y/o eslingas.

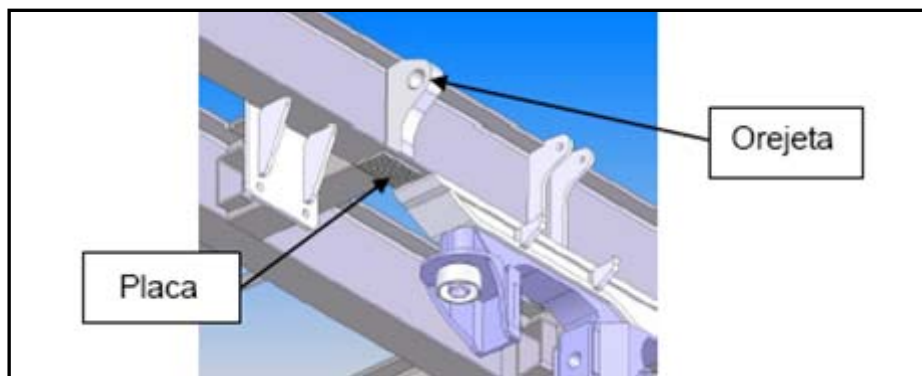


Figura 4.14. Ubicación de elementos de izado sobre el bastidor de una dresina

Para el estado de izado, las cargas consideradas son las mismas que en el modo de trabajo como muestra la figura 4.15.

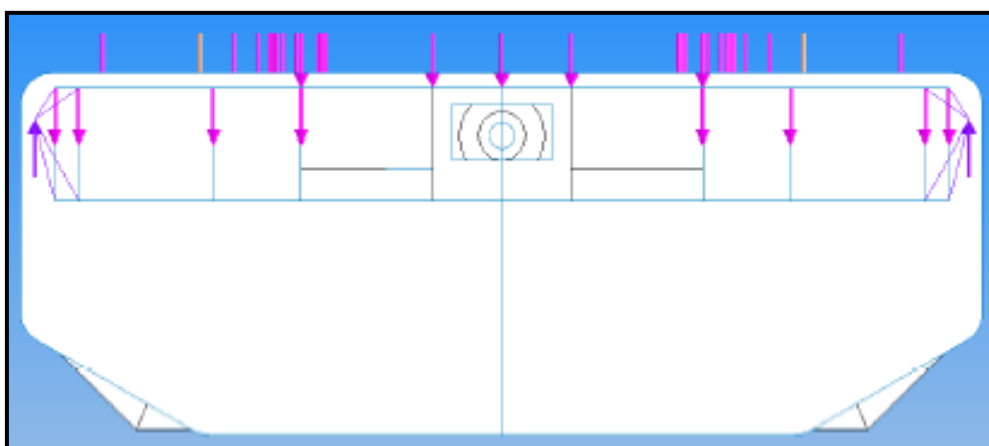


Figura 4.15. Cargas aplicadas sobre el extremo del bastidor

Durante la operación de izado de una dresina las reacciones que aparecen se detallan en la figura 4.16.

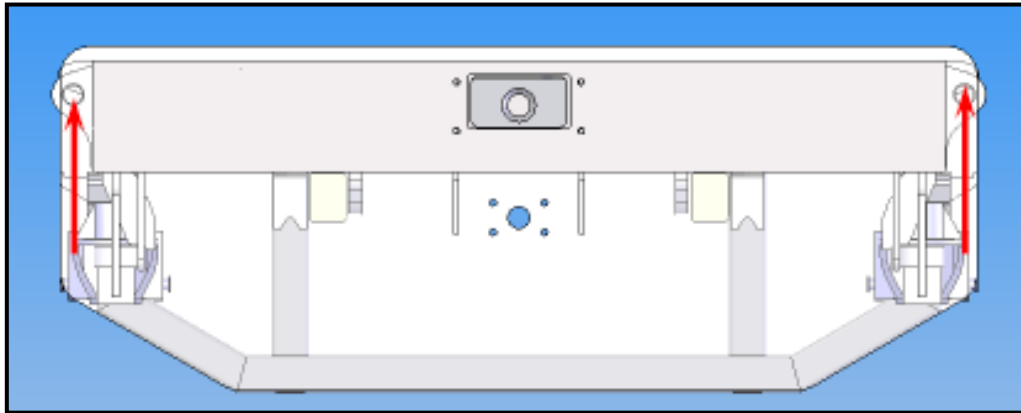


Figura 4.16. Simulación de las reacciones aparecidas durante el izado

Los resultados obtenidos al aplicar las cargas sobre el bastidor durante una simulación del izado, se pueden observar en las siguientes figuras:

- En la figura 4.17 los esfuerzos máximos que se alcanzan, están muy por debajo de la resistencia de los materiales. El esfuerzo máximo no llega a los 94 N/mm², lo que significa que tenemos un coeficiente de seguridad cercano a 3.

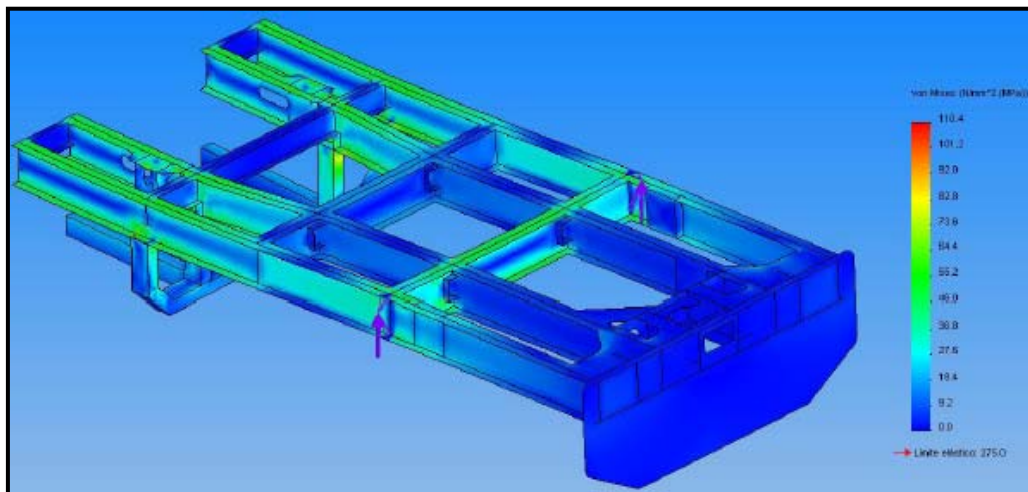


Figura 4.17. Esfuerzos máximos resultantes durante el izado

- La figura 4.18 hace referencia a las deformaciones producidas en el bastidor, que también son mínimas, no llegándose a alcanzar nunca los 8,5 mm. Esta deformación se sitúa por debajo de la condición de deformación máxima de 1‰ requerida en la ficha UIC 577 OR “Especificación Técnica de Homologación de Material Rodante Ferroviario”.

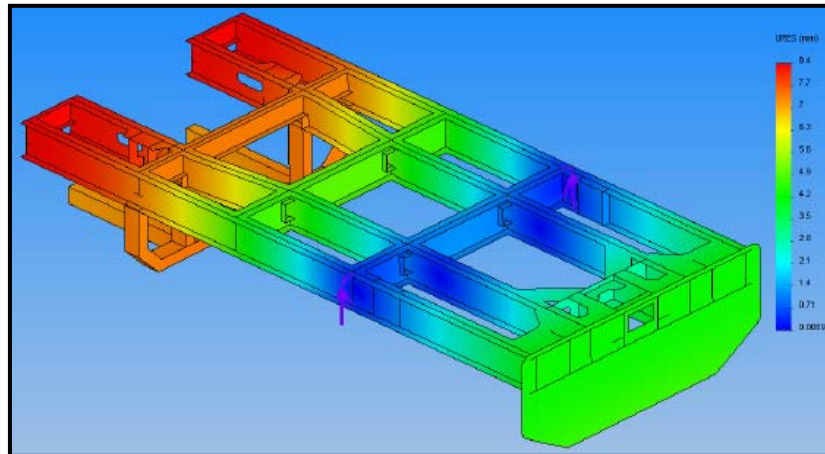


Figura 4.18. Desplazamiento (flecha máxima) resultante durante el izado

4.1.3.5. Placas de izado

En el bastidor se sueldan unas placas que serán los puntos de izado de los gatos en caso de descarrilamiento. Estas placas están situadas en la parte inferior del bastidor, justo debajo de las orejetas de izado, como refleja la figura 4.14 en el apartado 4.1.3.4 “Ganchos de izado”.

Este estado de carga se asume como satisfactorio ya que se conseguirían resultados similares al obtenido en los ganchos de izado. Se considera que las placas de izado obtendrían un coeficiente de seguridad mayor debido a que durante el izado la carga está centrada respecto al IPN correspondiente del bastidor, mientras que en las orejetas se descentraba, la cual inducía a una torsión al perfil.

4.1.3.6. Rigidez torsional

En referencia al bastidor de una dresina, la rigidez torsional es la fuerza necesaria para conseguir una cierta torsión sobre su eje longitudinal.

La rigidez torsional del bastidor, necesaria para realizar la comprobación de seguridad frente al descarrilamiento, ha sido calculada mediante COSMOSWorks, aplicando un momento torsor de 100 KN*m al bastidor. Se observan las deformaciones angulares obtenidas para evaluar la rigidez torsional que tiene el bastidor.

La rigidez, por unidad de longitud, se ha obtenido con el siguiente criterio de cálculo:

$$RIGIDEZ_{TORSION} = \frac{M_{TORSOR}}{\frac{DEF_{ANGULAR}}{L_{BASTIDOR}}} = C_t \left[\frac{N \cdot m^2}{rad} \right] = \frac{M_x [N \cdot m]}{\theta_x [rad] / L [m]}$$

Se calcula la deformación del bastidor al verse sometido a un momento torsor a lo largo de su eje longitudinal. Para ello, se considera bloqueado un extremo del bastidor aplicando dicho momento en el otro extremo, cuyo valor de cálculo es 100 KN*m, como aparece en la figura 4.19.

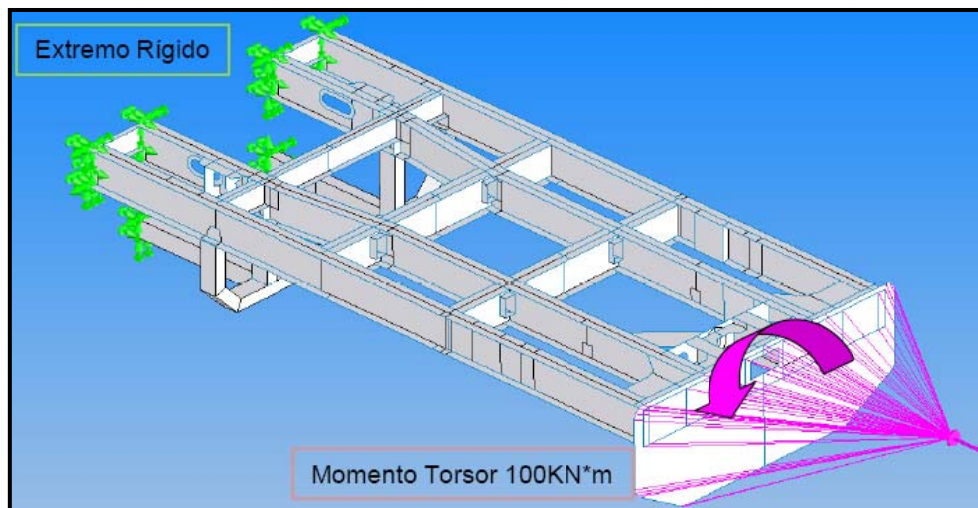


Figura 4.19. Cargas a torsión soportadas por el bastidor

Con estas condiciones se consiguen unos resultados de deformación angular que se muestran en la figura 4.20.

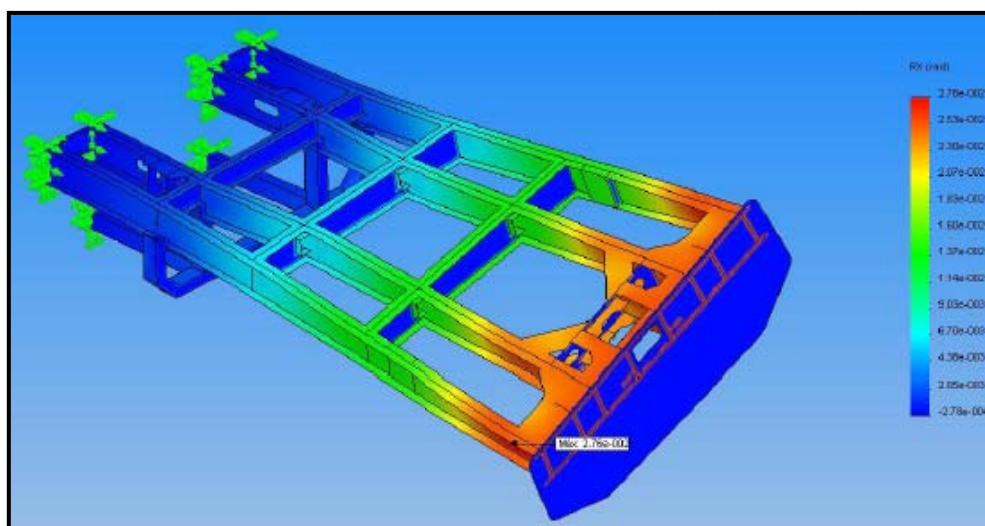


Figura 4.20. Esfuerzos máximos resultantes a torsión

La deformación angular máxima es de $2,76 \cdot 10^{-2}$ rad. Sustituyendo estos valores en la ecuación de cálculo se tiene:

$$C_t^* = \frac{100 \text{ KN} \cdot \text{m}}{0,0276 \text{ rad} / 5,5 \text{ m}} = 19927 \text{ KN} \cdot \text{m}^2 / \text{rad}$$

Este valor es el que se emplea en el cálculo de circulación dinámica, para demostrar que no se produce descarrilamiento.

4.1.4. PLANOS DE DISEÑO

En las figuras 4.21, 4.22 y 4.23 se observan los planos del bastidor diseñado.

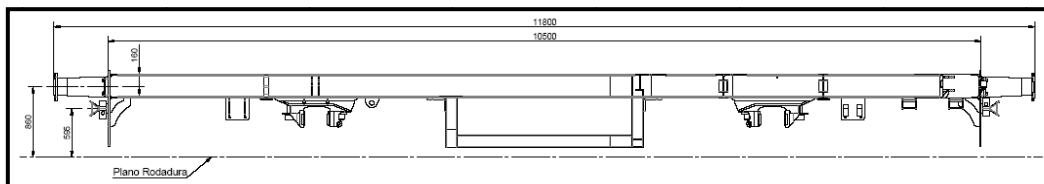


Figura 4.21. Vista lateral plano de detalle bastidor

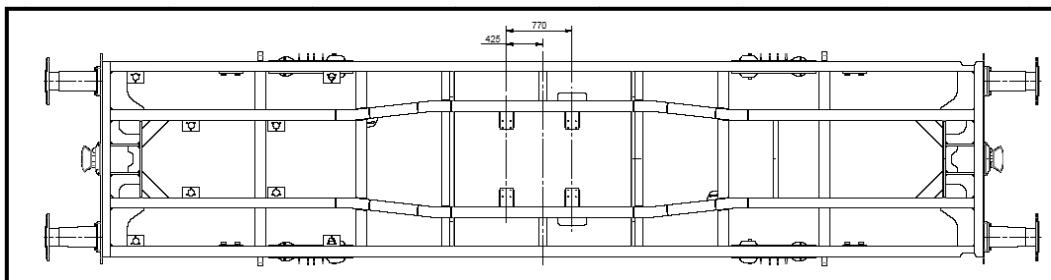


Figura 4.22. Vista superior plano de detalle bastidor

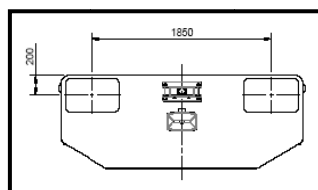


Figura 4.23. Vista frontal plano de detalle bastidor



4.2. RUEDAS

4.2.1. INTRODUCCIÓN

La rueda diseñada es del tipo monodisco estampado laminada en acero. Las características principales son las siguientes:

- Diámetro de rodadura de 800 mm.
- Ancho de la banda de rodadura 130 mm.

En esta fase del proyecto se realiza un estudio estático, para diferentes estados de carga, mediante el método de elementos finitos. La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

El mallado utilizado es un mallado de elementos tridimensionales. En las zonas de aplicación de cargas y en el cubo de la rueda, para conseguir en estas zonas una mayor precisión en los resultados, se procede a un mallado de mayor refinamiento.

4.2.2. DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO

4.2.2.1. Generalidades

Para el cálculo de una rueda de una dresina, se realizan diferentes estudios con las diferentes cargas que se pueden dar. Es importante diferenciar los resultados, en algunos casos, para ruedas en su última etapa de torneado, cuando el espesor de la banda de rodadura es más reducido.

El estudio que se describe es el utilizado para el caso de ruedas en ejes motores, los esfuerzos a los que se verá sometida la rueda son mayores que en los ejes portadores. Una rueda que soporta los esfuerzos para el caso de eje motor, lo hará también para ejes portadores.

Para poner las cargas en el modelo de cálculo, hay que considerar un área de aplicación de estas cargas, para que las tensiones no sean puntuales dando esfuerzos muy altos. Para definir el tamaño de este área se evalúa la distribución de esfuerzos en el contacto rueda-carril a través de un estudio específico para el caso de carga en circulación en recta. Como resultado de este



cálculo, se obtiene una aproximación a la superficie donde se aplican las cargas que dice la Norma [8].

Las tensiones que se evalúan son la intensidad de tensión en los nodos, es decir, la diferencia entre la tensión principal máxima y la mínima en los nodos.

4.2.2.2. Estados de carga

Durante esta etapa del diseño, se estudiarán diferentes estados de carga para analizar la resistencia de la rueda, en algunos casos se evaluarán los resultados para una rueda nueva y para una rueda en su torneado máximo (fin de su vida útil).

Los diferentes estados de carga serán los siguientes:

1. Estudio del contacto rueda-carril.
2. Esfuerzos de calado, debidos al ajuste entre eje y rueda.
3. Par motor, debido a la transmisión del par motor a las ruedas.
4. Circulación en recta, eje centrado.
5. Circulación en curva, flanco presionado contra el carril.
6. Paso por cruces y puntos, presión en la pestaña por la cara interna de la rueda.
7. Frenado de zapatas sobre banda de rodadura.

4.2.3. CÁLCULO

4.2.3.1. Estudio contacto rueda-carril

Este estado de carga simula el contacto rueda carril, para llevar a cabo los cálculos adecuados se modela parte del carril junto con media rueda. En su posición de rodadura en circulación en recta, la carga a la que está sometida es la mitad ya que el modelo está cortado por su eje de simetría. Para conseguir mayor precisión en los resultados, el mallado es mucho más fino en las superficies de contacto.

La figura 4.24 detalla el mallado utilizado para el diseño de la rueda de una dresina.

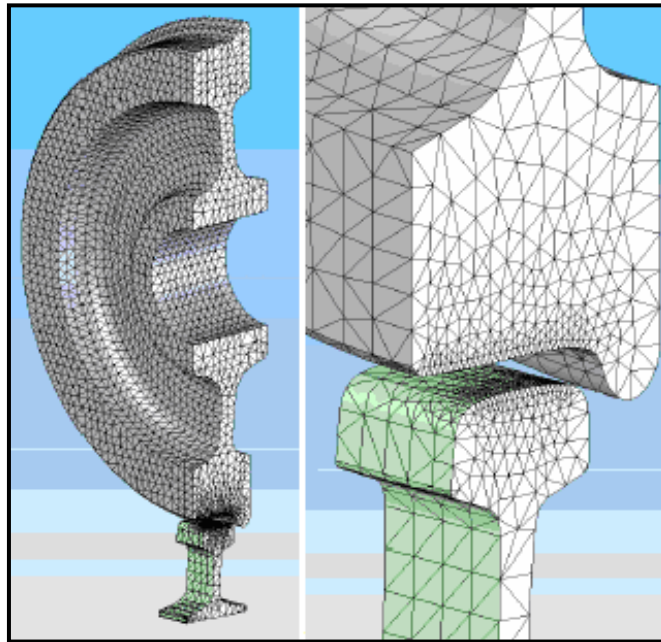


Figura 4.24. Detalle mallado contacto rueda-carril

En el modelo de cálculo, se restringe la posibilidad de interferencia entre rueda y carril, aplicando la carga sobre el eje de la rueda, dando como resultado la deformación de ambos, generándose así un área de contacto dónde la tensión se reparte, no superándose el límite elástico de rueda ni de carril. Para cargas normales, la rodadura de los vehículos no produce deformaciones permanentes sobre los carriles.

Para llevar a cabo el dimensionamiento de una rueda se ha aplicado una carga de 30 kN en el eje de la rueda del modelo, lo que es igual a 60 kN en el modelo completo, es decir, cerca de unas 12 toneladas por eje.

Una vez colocada la carga sobre la rueda y las restricciones de contacto, para dar estabilidad al modelo, el programa de elementos finitos proporciona la siguiente solución.

La figura 4.25 muestra en detalle el contacto entre la rueda y el carril.

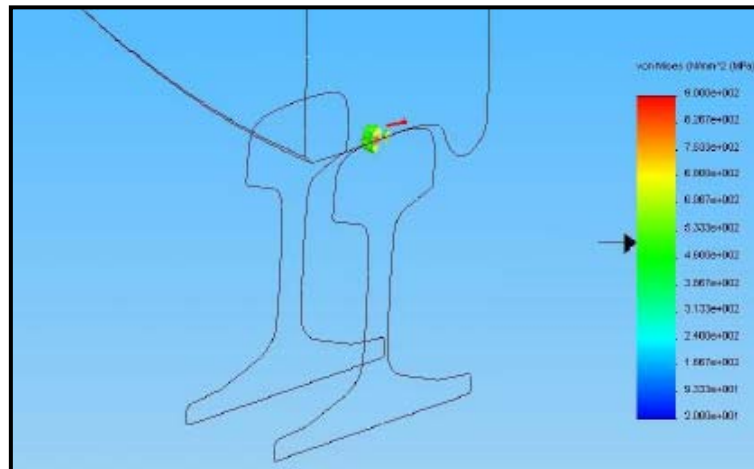


Figura 4.25. Detalle contacto rueda-carril

La zona de contacto con mayor concentración de tensiones que supera los 500 N/mm², ocupando una superficie muy reducida, aún así estos esfuerzos están dentro del campo elástico del carril y rueda. En los diferentes estados de carga, se repartirán las cargas en zonas de tal manera que no se lleguen a superar los 500 N/mm².

Los esfuerzos de rodadura rápidamente se reparten por el volumen de la rueda y el carril, en la figura 4.26 se pueden observar las zonas que superan los 100 N/mm².

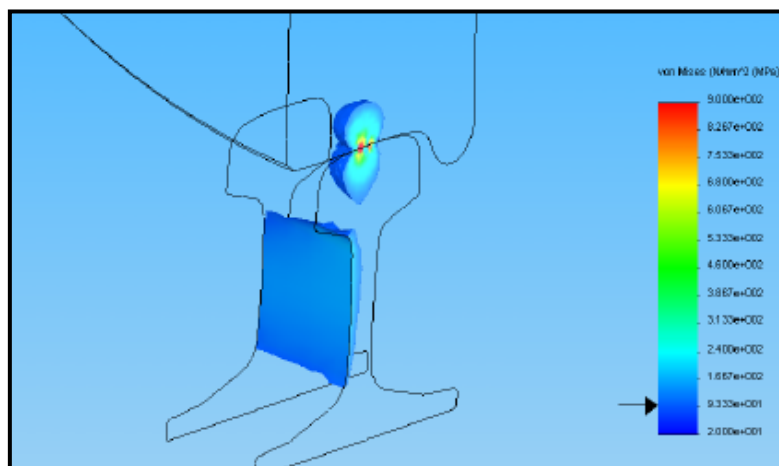


Figura 4.26. Detalle esfuerzos de rodadura rueda-carril

4.2.3.2. Esfuerzos de calado

Los esfuerzos de calado serán los esfuerzos resultantes del ajuste prensado entre rueda y eje. El cálculo se hará, para el caso de la interferencia máxima de 0,32 mm, mediante el estudio de un conjunto formado por una rueda y la zona de ajuste del eje por el método de elementos finitos.

En la figura 4.27 se muestra el mallado completo para este estado de carga (contacto rueda-eje).

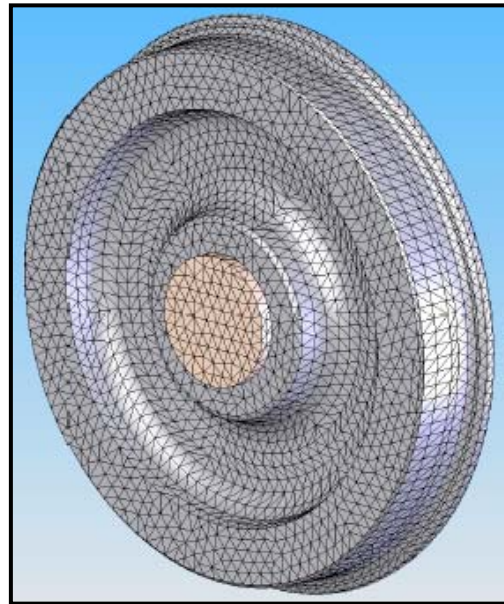


Figura 4.27 Detalle mallado contacto rueda-eje

Mediante restricciones se obliga al modelo a que coincidan las superficies del eje y de la rueda, el eje contrayéndose y la rueda dilatándose. De los resultados se puede extraer el dato de la deformación máxima de la rueda, dato que se usa en el cálculo individual de la misma. Los resultados del cálculo aparecen en la figura 4.28.

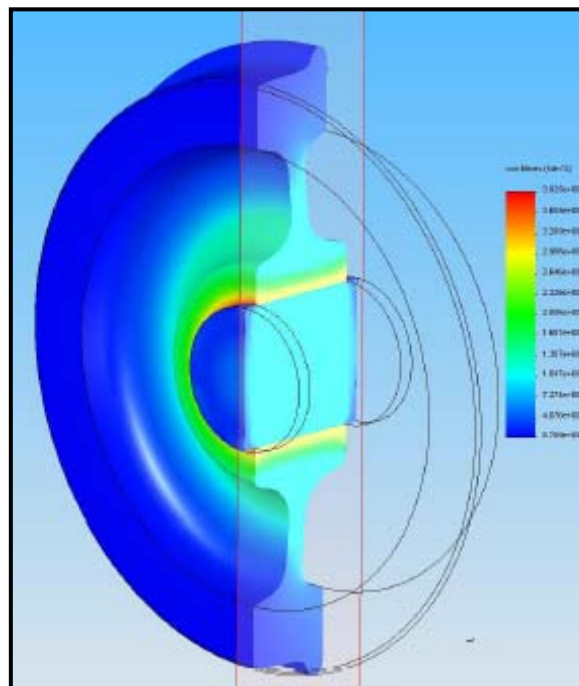


Figura 4.28. Concentración de tensiones rueda-eje

Las tensiones máximas se dan en el cubo de la rueda, como cabe esperar, también se darán las mayores deformaciones.

Los esfuerzos en el cubo de la rueda alcanzan los 320 N/mm^2 , en los extremos del calado. Las deformaciones máximas, medidas en radio, serán de $0,137 \text{ mm}$ en la rueda, a la entrada y salida del cubo, y de $-0,046 \text{ mm}$ en el eje, en el centro de la zona de calado. El signo negativo indica que el eje se deforma en compresión, cumpliéndose que la suma de la dilatación de la rueda y la contracción del eje da $0,16 \text{ mm}$ en radio, en caso de interferencia máxima entre eje y rueda.

La figura 4.29 corrobora los resultados, antes mencionados, con un código de colores.

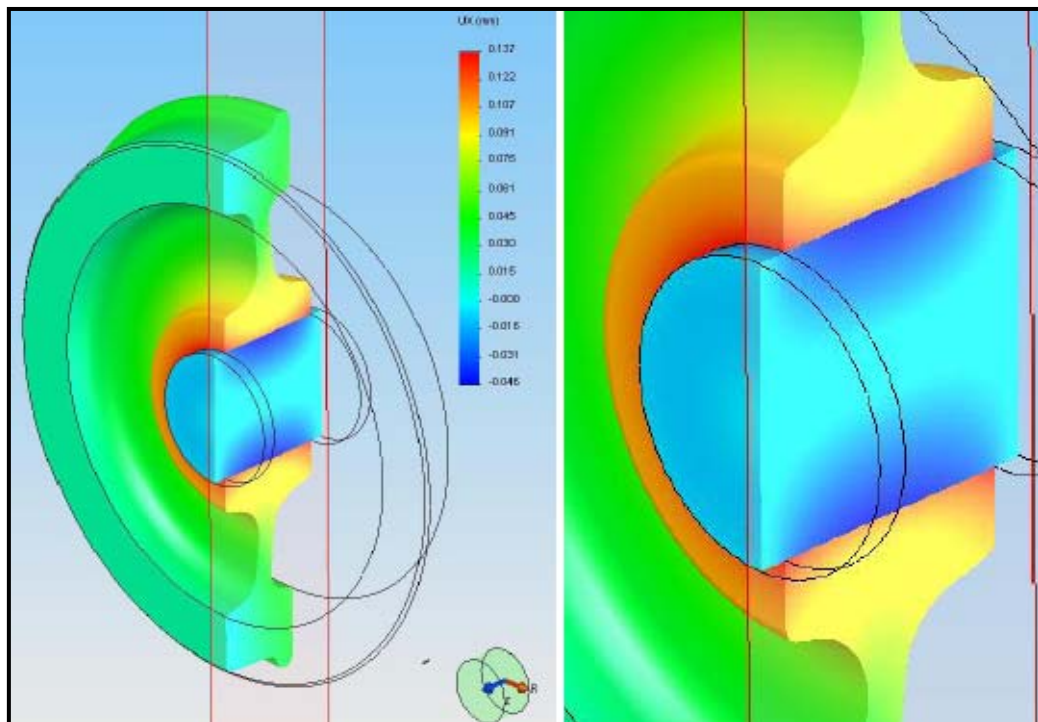


Figura 4.29. Deformaciones máximas entre rueda y eje

La mayor parte de la deformación ocurre en la rueda, y aunque la deformación no es constante a lo largo del cubo de la rueda, para el cálculo individual de la misma se considera que es constante y de un valor de $0,137 \text{ mm}$, quedando así del lado de la seguridad.

4.2.3.3. Par motor

Para este cálculo, se va a tener en cuenta el valor de mayor par motor que da la máquina. Para simular este cálculo, se considera la banda de rodadura fija, introduciendo el par motor al eje. En este caso el par máximo a considerar es de $1.910 \text{ N}\cdot\text{m}$, aproximando $2.000 \text{ N}\cdot\text{m}$.

El ajuste de calado dado entre eje y rueda es el que transmite el par motor del eje a las ruedas, produciendo un esfuerzo insignificante para la rueda.

En la figura 4.30 se puede observar la intensidad de tensión en los nodos, la diferencia ($P1 - P3$), es decir, $Ds = s_{\max} - s_{\min}$, tal y como dice la Norma [8].

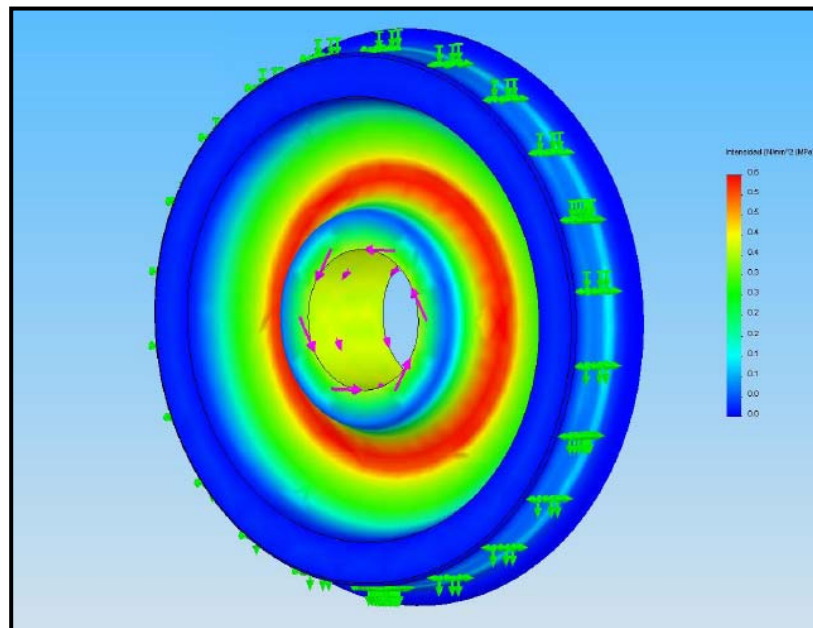


Figura 4.30. Intensidad de tensiones

El nivel de tensiones en la transmisión del par motor es insignificante.

4.2.3.4. Circulación en recta, eje centrado

Este estado de carga, caso 1 de la Norma [8], es el ideal, con el vehículo circulando en una recta y apoyando las ruedas en el círculo de rodadura ideal. Las cargas consideradas para este caso son las siguientes:

- P (carga en la rueda) = 6.000 Kg
- $F_z = 1,25 \cdot P = 7.500$ Kg
- $F_{Y1} = 0$

Para hacer el estudio, se ha considerado el cubo de rueda fijo, lo cual queda del lado de la seguridad. Las cargas se distribuyen en una pequeña zona de la banda de rodadura, mostrada en la figura 4.31, de tal forma que la carga no sea puntual, lo que daría picos de tensión irreales. Interesa demostrar que los esfuerzos debidos a la rodadura no afectan gravemente a otras zonas de la rueda, como puede ser la membrana.

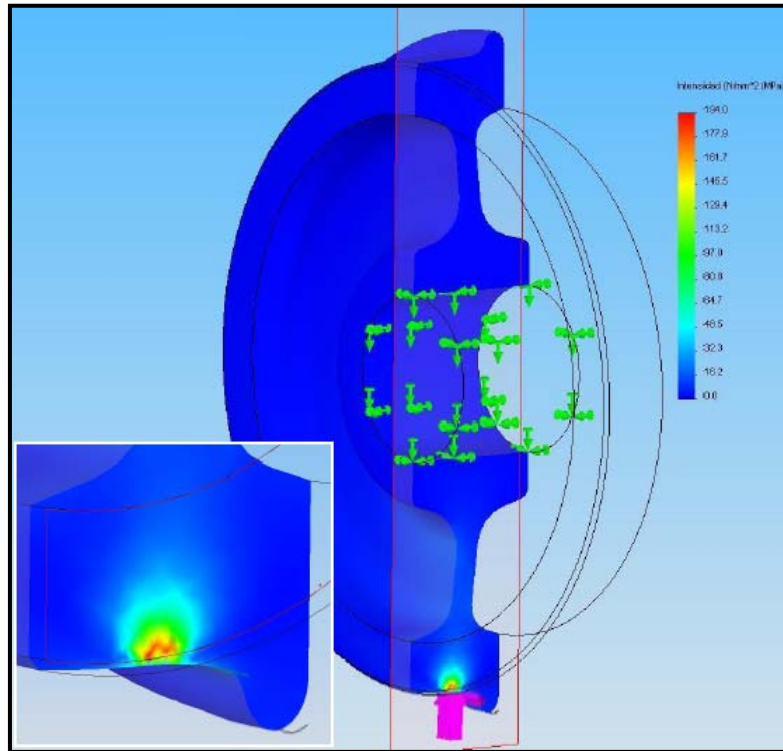


Figura 4.31. Concentración de tensiones para el estado de circulación en recta

La figura 4.31 muestra la intensidad de tensión en los nodos (P1 - P3), es decir, $D_s = s_{\text{máx}} - s_{\text{mín}}$, tal y como dice la Norma [8].

Los esfuerzos más altos se dan en la zona de contacto de la rueda, el resto de la rueda se ve poco afectada por estas cargas.

4.2.3.5. Circulación en curva, flanco presionado contra carril

Este estado de cargas es el caso 2 especificado en la Norma, dónde las cargas aplicadas son:

- P (carga en la rueda) = 6.000 Kg
- $F_z = 1,25 \cdot P = 7.500$ Kg
- $F_{Y2} = 0,7 \cdot P = 4.200$ Kg

En la figura 4.32, las cargas se distribuyen en una pequeña zona de la banda de rodadura y la pestaña, de tal forma que la carga no sea puntual, lo que daría picos de tensión irreales. Interesa demostrar que los esfuerzos debidos a la rodadura no afectan gravemente a otras zonas de la rueda, como puede ser la membrana.

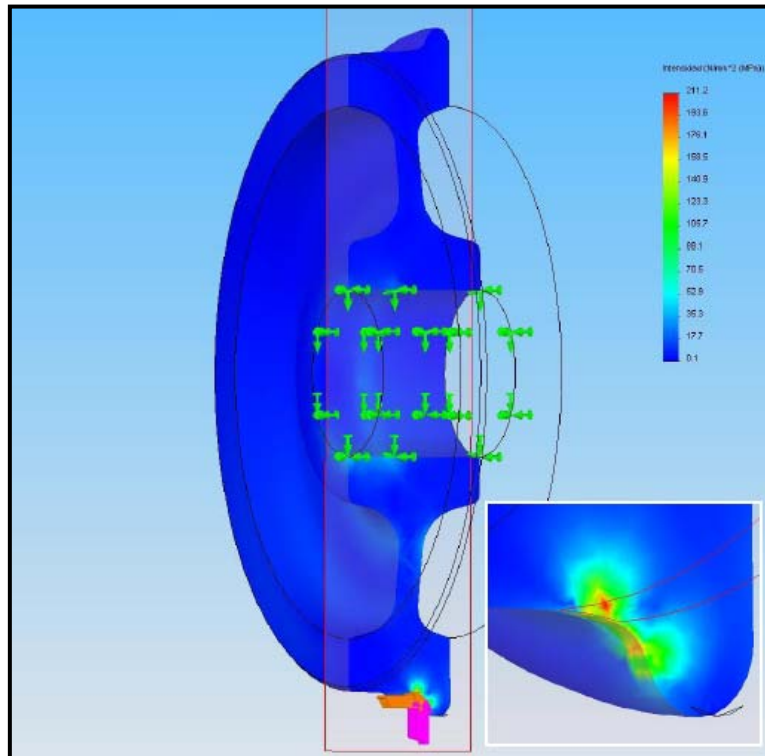


Figura 4.32. Concentración de tensiones para el estado de circulación en curva

La figura 4.32 muestra la intensidad de tensión en los nodos (P1 - P3), es decir, $D_s = s_{\text{máx}} - s_{\text{mín}}$, tal y como dice la Norma [8].

Los esfuerzos de la rodadura repercuten poco en la membrana de la rueda, alcanzando los esfuerzos máximos en la zona de contacto de forma puntual.

4.2.3.6. Paso por cruces y puntos, presión cara interna de la rueda

Este es el caso 3 especificado en la Norma, dónde las cargas aplicadas son:

- P (carga en la rueda) = 6.000 Kg
- $F_z = 1,25 \cdot P = 7.500$ Kg
- $F_{Y3} = 0,6 \cdot F_{Y2} = 0,42 \cdot P = 3.150$ Kg

En la figura 4.33, las cargas se distribuyen en una pequeña zona de la banda de rodadura y la pestaña, de tal forma que la carga no sea puntual, lo que daría picos de tensión irreales. Interesa demostrar que los esfuerzos debidos a la rodadura no afectan gravemente a otras zonas de la rueda, como puede ser la membrana.

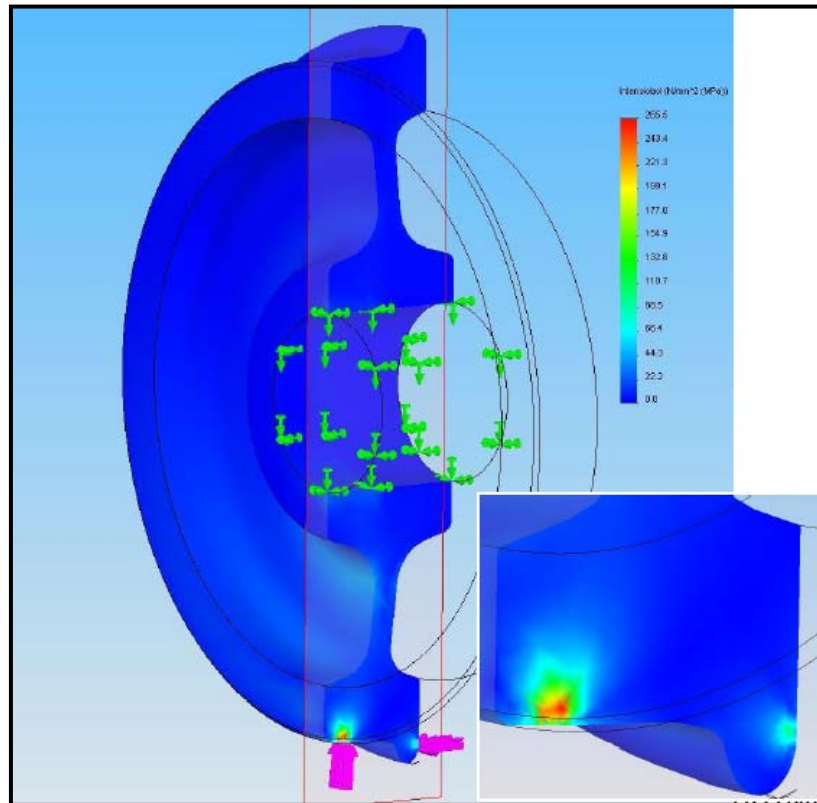


Figura 4.33. Concentración de tensiones durante paso por cruces y puntos

La figura 4.33 indica la intensidad de tensión en los nodos (P1 - P3), es decir, $D_s = s_{\text{máx}} - s_{\text{mín}}$, tal y como dice la Norma [8].

En la figura 4.33, los esfuerzos de la rodadura repercuten poco en la membrana de la rueda, alcanzando los valores máximos en la zona de contacto, donde estos esfuerzos son muy puntuales. La intensidad máxima de los esfuerzos alcanzada es 265 N/mm² en las zonas de contacto con el carril, no llegando a 60 N/mm², por ejemplo en la zona de membrana.

4.2.3.7. Frenado de zapatas sobre banda de rodadura

En este caso, se consideran los esfuerzos que soporta la rueda en el caso de un frenado máximo:

- Fuerza de aplicación de la zapata 1.150 Kg por zapata.
- Debido al coeficiente de rozamiento, la fuerza anterior producirá un momento de frenado, sobre la llanta de la rueda. El momento evaluado será de 2.500 N·m.

Los esfuerzos que se producen en la rueda son muy pequeños como se puede apreciar en la figura 4.34.

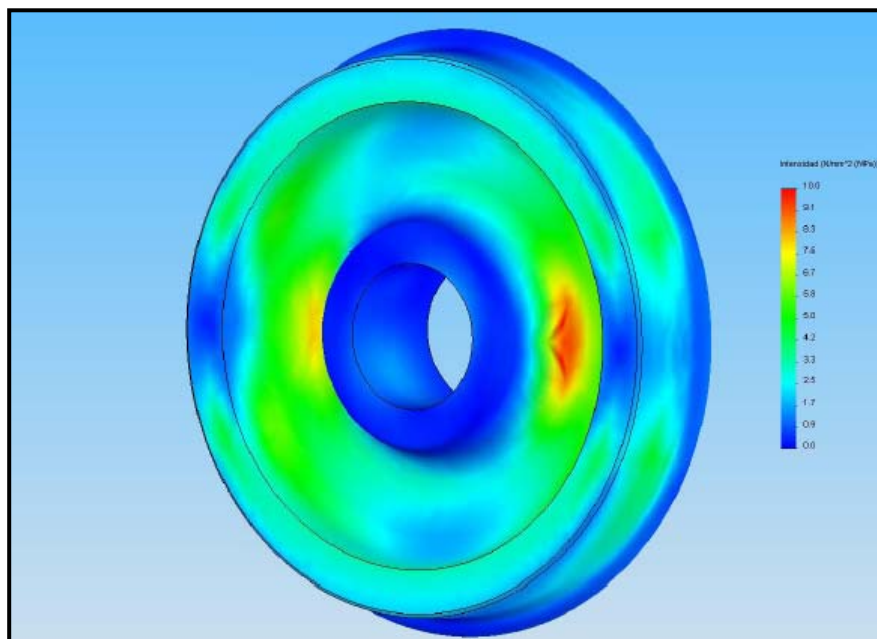


Figura 4.34. Esfuerzos producidos durante el frenado

La figura 4.34 señala la intensidad de tensión en los nodos (P1 - P3), es decir, $D_s = s_{\text{máx}} - s_{\text{mín}}$, tal y como dice la Norma [8].

La intensidad de la tensión que induce el frenado es del orden de 10 N/mm².

4.3. EJES

4.3.1. INTRODUCCIÓN

Un eje es un elemento de máquina generalmente rotatorio y a veces estacionario, que tiene sección normalmente circular de dimensiones menores a la longitud del mismo. Tiene montados sobre sí, elementos que transmiten energía o movimiento, tales como poleas (con correas o cadenas), engranajes, levas, volantes, etc. En la figura 4.35 se aprecia la simulación de un eje motor.

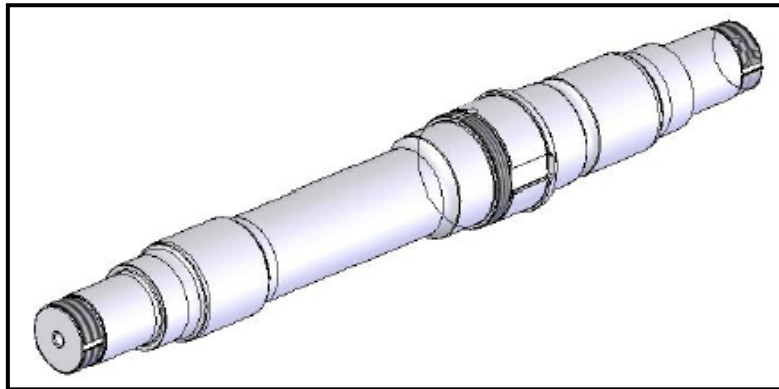


Figura 4.35. Eje motor de una dresina

El cálculo de los ejes motores de una dresina está normalizado por AENOR [9].

El objetivo es calcular los esfuerzos que se producen en las diferentes secciones del eje, la comparación de estos valores con los esfuerzos máximos permitidos conducirá al adecuado dimensionado del eje. En la tabla 4.2 queda recogida la nomenclatura que se utilizará a la hora de calcular el eje motor.

Tabla 4.2. Nomenclatura unidades de cálculo

| Símbolo | Unidad | Descripción |
|----------------|----------|---|
| m_1 | kg | Masa por eje (las masas de los rodamientos y de las cajas de grasa están incluidas) |
| m_2 | kg | Masa del eje y masas sobre el eje entre los planos de rodadura (freno de disco, piñón, etc.) |
| $m_1 + m_2$ | kg | Se considera para el eje, la masa aplicada sobre los carriles |
| g | m/s^2 | Aceleración debida a la gravedad |
| P | N | La mitad de la fuerza vertical por cada eje, sobre el carril $\frac{(m_1 + m_2) g}{2}$ |
| P_0 | N | Fuerza vertical estática por cada mangueta, cuando el eje está cargado simétricamente $\frac{m_1 g}{2}$ |
| P_1 | N | Fuerza vertical sobre la mangueta más cargada |
| P_2 | N | Fuerza vertical sobre una mangueta menos cargada |
| P' | N | Parte de P frenado por cualquier sistema mecánico de frenado |
| Y_1 | N | Fuerza horizontal de la rueda/carril, perpendicular al carril, en el lado de la mangueta más cargada |
| Y_2 | N | Fuerza horizontal de la rueda/carril, perpendicular al carril, en el lado de la mangueta menos cargada |
| H | N | Fuerza que equilibra a las fuerzas Y_1 y Y_2 |
| Q_1 | N | Reacción vertical sobre la rueda, situada del lado de la mangueta más cargada |
| Q_2 | N | Reacción vertical sobre la rueda, situada del lado de la mangueta menos cargada |
| F_1 | N | Fuerzas ejercidas por las masas de los elementos no suspendidos, situadas entre las dos ruedas (freno de disco(s), piñón, etc.) |
| F_1 | N | Fuerza máxima aplicada a las zapatas de un mismo portazapatas, sobre una rueda o fuerza de las pastillas sobre un disco |
| M_x | Nmm | Momento de flexión debido a las masas en movimiento |
| M_s | Nmm | Momento de flexión debido a las masas en movimiento |
| M'_x, M'_z | Nmm | Momentos de flexión debidos al frenado |
| M'_y | Nmm | Momento de torsión debido al frenado |
| M''_x, M''_z | Nmm | Momentos de flexión, debidos a la fuerza de tracción |
| M''_y | Nmm | Momento de torsión, debido a la fuerza de tracción |
| M_X, M_Z | Nmm | Suma de momentos de flexión |
| M_T | Nmm | Suma de momentos de torsión |
| M_R | Nmm | Momento resultante |
| $2b$ | mm | Distancia entre los puntos de aplicación de las fuerzas verticales sobre las manguetas del eje |
| $2s$ | mm | Distancia entre círculos de rodadura de las ruedas |
| h_1 | mm | Altura por encima de la línea central del eje, del centro de gravedad de las masas soportadas por el eje |
| y_1 | mm | Distancia entre el círculo de rodadura de una rueda y la fuerza F_1 |
| y | mm | Abscisa para cualquier sección del eje, medida desde la sección sometida a la fuerza P_1 |
| Γ | | Medio del coeficiente de fricción, entre la rueda y la zapata de frenado, o entre las pastillas de frenado y el disco |
| σ | N/mm^2 | Esfuerzo calculado en una sección |
| K | | Factor de concentración de esfuerzos de fatiga coeficiente de mayoración del esfuerzo de fatiga |
| R | mm | Radio nominal del círculo de rodadura de la rueda |
| R_b | mm | Radio de freno de disco |
| d | mm | Diámetro para una sección del eje |
| d' | mm | Diámetro interior de un eje hueco |
| D | mm | Diámetro utilizado para determinar K |
| r | mm | Radio de la curva de transición, utilizado para determinar K |
| S | | Coefficiente de seguridad |
| G | | Centro de gravedad |
| R_{σ} | N/mm^2 | Límite de fatiga en flexión rotativa hasta 10^7 ciclos, para probetas lisas |
| R_{σ} | N/mm^2 | Límite de fatiga en flexión rotativa hasta 10^7 ciclos, para probetas con muescas |
| a_q | m/s^2 | Desequilibrio de la aceleración transversal |
| f_3 | | Factor de propulsión |

4.3.2. DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO

4.3.2.1. Generalidades

Las principales fases para el diseño de un eje son las siguientes:

- Identificación de las fuerzas que se han de tener en cuenta, cálculo de los momentos en las diferentes secciones del eje.
- Selección de los diámetros para el cuerpo del eje y las manguetas, en base a estos diámetros se calculan los de otras secciones.
- Las opciones tomadas se verifican calculando los esfuerzos para cada sección y comparándolos con los esfuerzos máximos permitidos.

4.3.2.2. Fuerzas y momentos a tener en cuenta

4.3.2.2.1. Tipos de fuerzas

Durante el diseño de un eje motor para dresina se van a tener en cuenta tres tipos de fuerzas:

- Masas en movimiento.
- Fuerza y momentos de frenado.
- Fuerza y momentos de tracción.

4.3.2.2.2. Efectos debidos a las masas en movimiento

Las fuerzas producidas por las masas en movimiento están situadas en el plano vertical de simetría (y-z) pasando por el eje central del eje, como indica la figura 4.36.

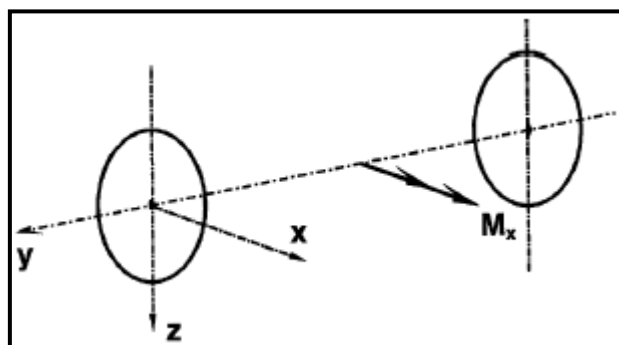


Figura 4.36. Ejes de simetría

El momento flector, M_x , generado en cualquier sección del eje se calcula a partir de las fuerzas P_1 , P_2 , Q_1 , Q_2 , Y_1 , Y_2 y F_i como se muestra en la figura 4.37. Dicha figura, representa el caso más desfavorable para el eje, es decir:

- La distribución asimétrica de las fuerzas.
- La dirección de las fuerzas F_i , debidas a las masas de los componentes no suspendidos, es seleccionada de tal manera que sus efectos de flexión se suman a los ocasionados por las fuerzas verticales.

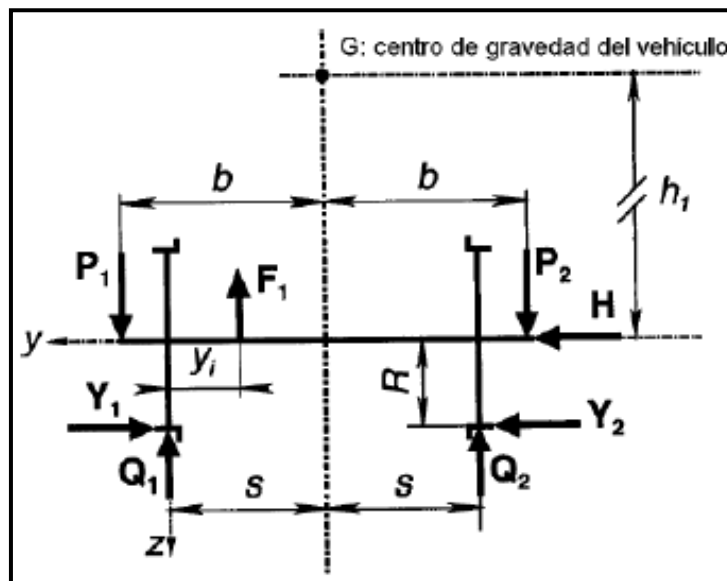


Figura 4.37. Estado de cargas desfavorable sobre eje motor

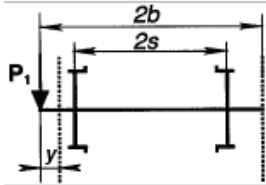
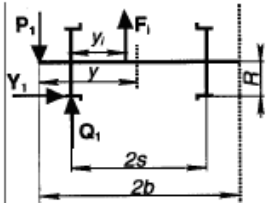

Una vez conocido el estado de cargas aplicado sobre el eje, los valores de las fuerzas se calculan a partir de m_1 como muestra la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Formulario cálculo de fuerzas

| | |
|---|--|
| Para todos los ejes definidos en el campo de aplicación de esta norma | $P_1 = (0,625 + 0,0875 h_1/b) m_1 g$ $P_2 = (0,625 - 0,0875 h_1/b) m_1 g$ $F_1 = 0,35 m_1 g$ $Y_2 = 0,175 m_1 g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,175 m_1 g$ |
| Para todos los ejes | $Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1(b+s) - P_2(b-s) + (Y_1 - Y_2)R - F_1(2s - y_i)]$ $Q_2 = \frac{1}{2s} [P_2(b+s) - P_1(b-s) - (Y_1 - Y_2)R - F_1 y_i]$ |

En el cálculo de M_x hay que tener en cuenta las variaciones que experimenta el momento a lo largo del eje. La tabla 4.4 muestra las fórmulas que se utilizarán para calcular el valor de M_x en cada zona del eje, junto con el esquema general de las variaciones del momento.

Tabla 4.4. Formulario cálculo de momentos

| Zona del eje | M_x |
|--|--|
| Entre el plano de carga y el plano de rodadura | $M_x = P_1 y$  |
| Entre los planos de rodadura | $M_x = P_1 y - Q_1 (y - b + s) + Y_1 R - F_1 (y - b + s - y_1)$  <p>F_1: Fuerza(s) situada(s) a la izquierda de la sección considerada</p> |
| Esquema general de las variaciones de M_x |  |

4.3.2.2.3. Efectos debidos al frenado

El frenado produce un momento en corte transversal, en la figura 4.38 están representadas las tres componentes (M'_x , M'_y , M'_z).

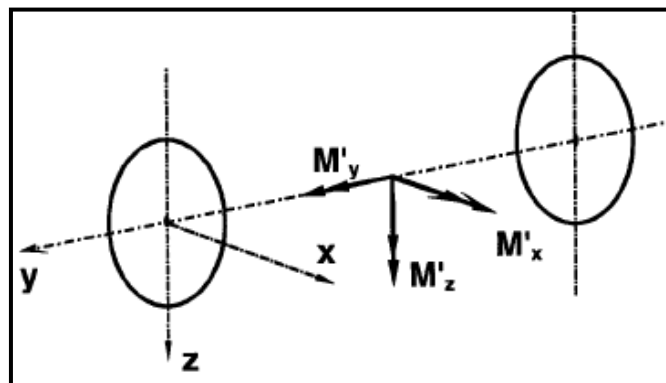
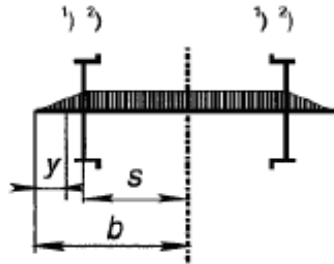
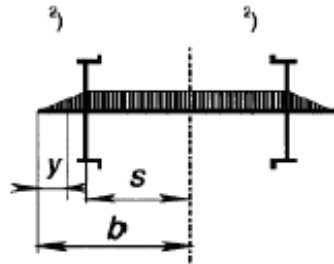
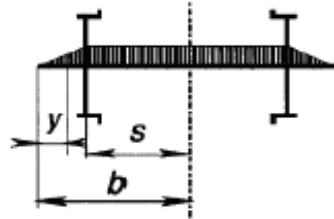
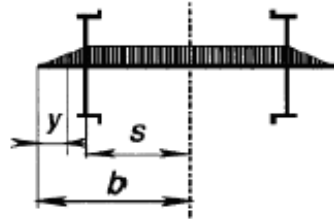
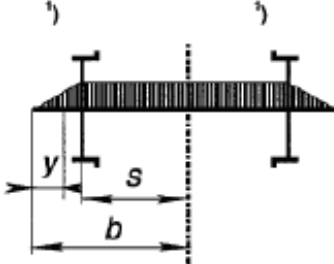
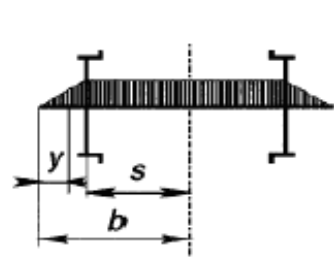
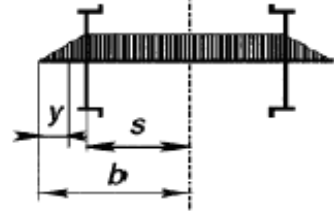
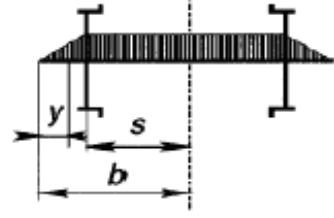


Figura 4.38. Descomposición del momento en los ejes de simetría

- La componente de flexión M'_x se debe a las fuerzas verticales, paralelas al eje z.
- La componente de flexión M'_z se debe a las fuerzas horizontales, paralelas al eje x.
- La componente de torsión M'_y se dirige conforme a la línea central del eje (eje y); este momento se debe a las fuerzas tangenciales aplicadas a las ruedas.

Los componentes, M'_x , M'_y , M'_z , se muestran en la tabla 4.5 para cada modalidad de frenado.

Tabla 4.5. Formulario cálculo de componentes momento según modalidad de frenado

| Componentes M'_x , M'_z , M'_y | Modalidad de frenado utilizada | | | |
|--|---|---|--|---|
| | Zapatillas de freno de fricción en los dos lados de cada rueda | | Zapatillas de freno de fricción sólo en un lado de cada rueda | |
| | Entre el plano de carga y el plano de rodadura | Entre los planos de rodadura | Entre el plano de carga y el plano de rodadura | Entre los planos de rodadura |
| M'_x | $M'_x = 0,3F_f \Gamma y$ $M'_x = 0,3F_f \Gamma (b-s)$  | $M'_x = 0,3F_f \Gamma (b-s)$  | $M'_x = F_f \Gamma y$ $M'_x = F_f \Gamma (b-s)$  | $M'_x = F_f \Gamma (b-s)$  |
| M'_z | $M'_z = F_f (0,3 + \Gamma) y$ $M'_z = F_f (0,3 + \Gamma) (b-s)$  | $M'_z = F_f (0,3 + \Gamma) (b-s)$  | $M'_z = F_f (1 + \Gamma) y$ $M'_z = F_f (1 + \Gamma) (b-s)$  | $M'_z = F_f (1 + \Gamma) (b-s)$  |
| M'_y | $M'_y = 0$ | $M'_y = 0,3P R$ | $M'_y = 0$ | $M'_y = 0,3P R$ |



Es importante aclarar los siguientes puntos:

- 1) El coeficiente 0,3 se obtiene de los experimentos que establecieron las posibles diferencias entre las fuerzas aplicadas de dos zapatas de freno sobre cada rueda.
- 2) Mientras no se justifique lo contrario:
 - Para las zapatas de freno:
 - $\Gamma = 0,1$ para zapatas de freno de fundición.
 - $\Gamma = 0,17$ para todas las zapatas de freno con bajo coeficiente de fricción, excluyendo fundición.
 - $\Gamma = 0,25$ para todas las zapatas de freno con alto coeficiente de fricción, excluyendo fundición.
 - Para pastillas de freno:
 - $I = 0,35$
- 3) Este valor se obtuvo a partir de los ensayos experimentales, y corresponde a una fuerza de frenado distinta entre las dos ruedas, produciendo una diferencia de fuerza tangencial en las ruedas, igual a $0,3 \cdot P'$. Ello incluye el momento de torsión.
- 4) P' es la parte de P frenada con la modalidad de frenado considerada.

4.3.2.2.4. Efectos debidos a la tracción

Las fuerzas producidas en el eje por la transmisión del par motriz, en condiciones de adherencia constantes, normalmente se pueden despreciar. El cálculo y la experiencia demuestran que los momentos de flexión M''_x , M''_z y el momento de torsión M''_y producido por estas fuerzas de tracción son menores que los producidos por el frenado. Los momentos de tracción y frenado no se producen simultáneamente.

4.3.2.2.5. Cálculo del momento resultante

En todas las secciones, los esfuerzos máximos se calculan a partir del momento resultante M_R , que es igual a:

$$M_R = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2 + M_Z^2}$$

Donde M_X , M_Y y M_Z son la suma de los diferentes componentes debidos a las masas en movimiento, frenado y tracción:

$$M_X = M_x + \sum M'_x \quad M_Y = \sum M'_y \quad M_Z = \sum M'_z$$

En un punto de la superficie exterior de un cilindro macizo (demostración análoga en el caso de uno hueco), de diámetro d , las componentes M_X , M_Y y M_Z producen:

- Esfuerzo normal para M_X y M_Z .
- Esfuerzo tangencial para M_Y .

El esfuerzo normal tiene el siguiente valor (flexión de vigas de sección circular):

$$\sigma_n = \frac{32 \sqrt{M_X^2 + M_Z^2}}{\pi d^3}$$

El esfuerzo tangencial tiene el siguiente valor (torsión de vigas de sección circular):

$$\sigma_t = \frac{16 M_Y}{\pi d^3}$$

Y de ello resultan dos esfuerzos principales σ_1 y σ_2 iguales a:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_n + \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2}}{2} \quad \sigma_2 = \frac{\sigma_n - \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2}}{2}$$

Puesto que el esfuerzo normal tiene un valor absoluto mucho mayor (de 10 a 20 veces) que el esfuerzo tangencial, se selecciona el diámetro más grande del círculo de Mohr, ($\sigma_1 - \sigma_2$ en este caso) para verificar el valor elegido para el diámetro en la sección del eje.

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = \sqrt{\sigma_n^2 + 4\sigma_t^2} = \frac{32}{\pi d^3} \sqrt{M_X^2 + M_Y^2 + M_Z^2}$$

4.3.2.3. Determinación de las características geométricas de las diferentes partes del eje

Dada cualquier sección del eje tomando d como diámetro, el esfuerzo a tener en cuenta es el siguiente:

$$\sigma_2 = \frac{32KM_R}{\pi d^3}$$

Siendo K un factor de concentración de esfuerzos de fatiga; el cual se muestra en el gráfico de la figura 4.39.

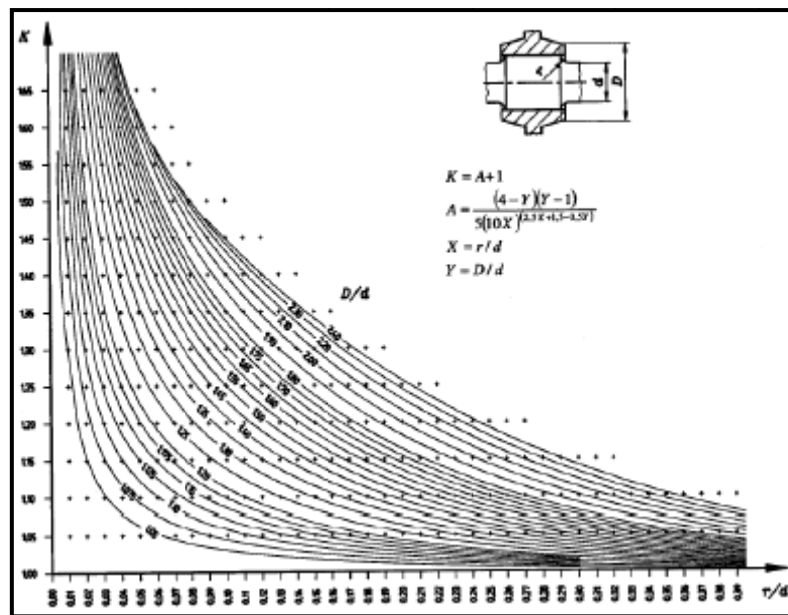


Figura 4.39. Factor de concentración de esfuerzos de fatiga

En una parte cilíndrica, situada sobre la superficie de un eje, el coeficiente K es igual a 1. Sin embargo, cada cambio de sección produce un aumento del esfuerzo, cuyo valor máximo se encuentra en la transición inferior, entre dos partes cilíndricas contiguas de diámetros diferentes, o en el fondo de las acanaladuras.

Existe otro gráfico para el caso particular de entalladuras en forma de garganta o acanaladuras, que se puede apreciar en la figura 4.40.

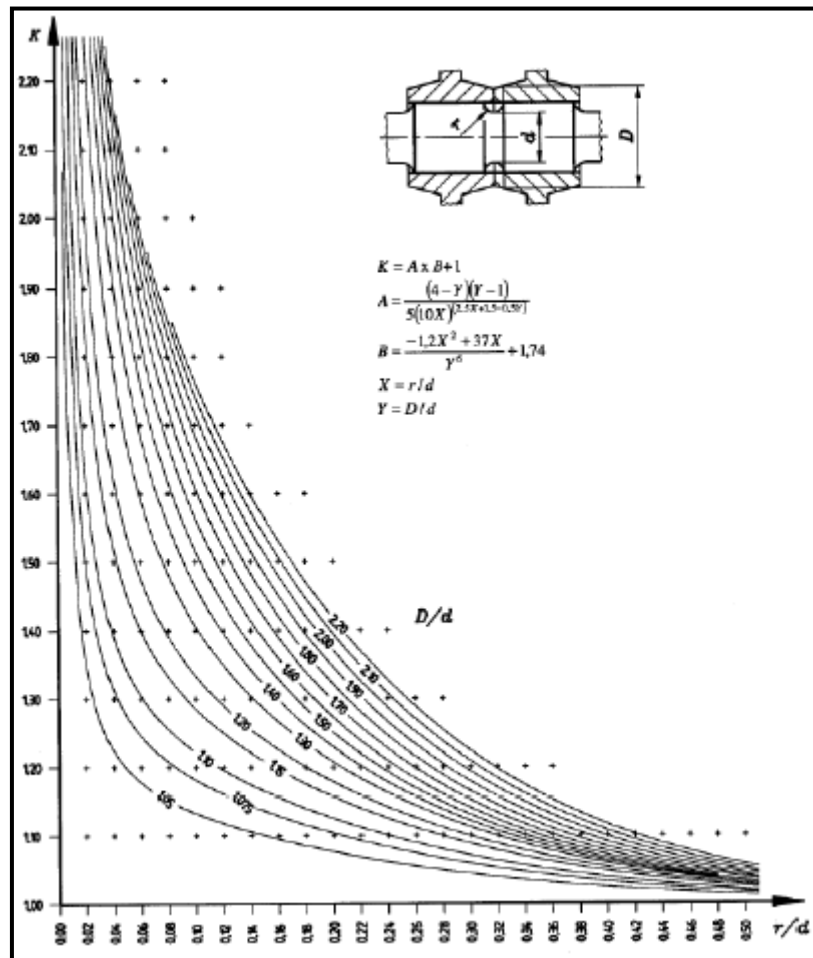


Figura 4.40. Factor de concentración de esfuerzos de fatiga en entalladuras o acanaladuras

La nomenclatura que aparece en los gráficos de las figuras anteriores se describe en la tabla 4.2.

4.3.2.4. Esfuerzos máximos admisibles

Los esfuerzos máximos admisibles se determinan a partir del límite de fatiga en flexión rotativa de las diferentes partes del eje, afectado por un coeficiente de seguridad llamado S , que depende de la calidad del acero y del método de diseño de transmisión del par motor.



Como referencia, los valores de los límites de fatiga para un material del tipo EA1N, son:

- 200 N/mm² sin calado con apriete.
- 120 N/mm² con calado con apriete.

En la tabla 4.6 se detallan los coeficientes de seguridad S , por el cual se tienen que dividir los límites de fatiga para obtener los esfuerzos máximos admisibles.

Tabla 4.6. Valores del coeficiente de seguridad S

| Utilización prevista del eje | Coeficiente de seguridad S | Zona 1 ¹⁾ N/mm ² | Zona 2 ²⁾ N/mm ² |
|---|------------------------------|---|---|
| Eje motor con puente motor o piñón calado | 1,5 | 133 | 80 |
| Otros casos | 1,3 | 154 | 92 |
| 1) Zona 1: cuerpo del eje, zonas de apoyo de cojinetes, fondos de acanaladuras, curvas de transición. | | | |
| 2) Zona 2: zonas de calado de rueda, del disco de freno, del rodamiento, del piñón, del collarín. | | | |

4.3.2.5. Características especiales para ejes de acero EA1T y EA4T

Los ejes motores que se diseñan estarán fabricados en acero EA1T, diferente al material que se emplea en la Norma [10]. Al utilizar un material distinto, se establecen nuevos coeficientes de seguridad teniendo en cuenta el material de fabricación del nuevo eje.

El valor del coeficiente de seguridad S , por el que se tienen que dividir los límites de fatiga para obtener los esfuerzos máximos permitidos, es igual a:

$$S = 1,3 \text{ (o } 1,5) \times \frac{q \text{ (otra calidad de acero)}}{q \text{ (calidad de acero EA1N)}}$$

$$q = \frac{R_{fL}}{R_{fE}}$$

Se pueden obtener las tensiones límite de fatiga para el distintos tipos de acero. La tabla 4.7 agrupa los valores tensionales para los aceros EA1T y EA4T [11].

Tabla 4.7. Tensiones límite de fatiga para aceros EA1T y EA4T

| Grado | $F_1 \geq$ | $F_2 \geq$ | $R_{fL} \geq$ | $R_{fE} \geq$ | R_{fL}/R_{fE} |
|-------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| EA1T | 200 N/mm ² | 80 N/mm ² | 250 N/mm ² | 170 N/mm ² | 1,47 |
| EA4T | 240 N/mm ² | 96 N/mm ² | 350 N/mm ² | 215 N/mm ² | 1,63 |

Estos datos se introducen en las fórmulas antes descritas:

$$q(\text{EA1T calidad de acero}) = \frac{250}{170} = 1,47$$

$$S = 1,3 \text{ (6 1,5)} \times \frac{q(\text{EA1T})}{q(\text{EA1N})} = 1,3 \text{ (6 1,5)} \times \frac{1,47}{1,47} = 1,3 \text{ (6 1,5)}$$

Por lo tanto el coeficiente de seguridad a usar con el material EA1T es el mismo que para el EA1N.

4.3.3. CÁLCULOS

En este apartado, se particularizan los valores para el cálculo real de un eje motor de una dresina.

4.3.3.1. Datos de partida

Como datos de partida se toman los valores geométricos y las fuerzas externas que actúan sobre el eje. La geometría acotada del eje diseñado se detalla en la figura 4.41.

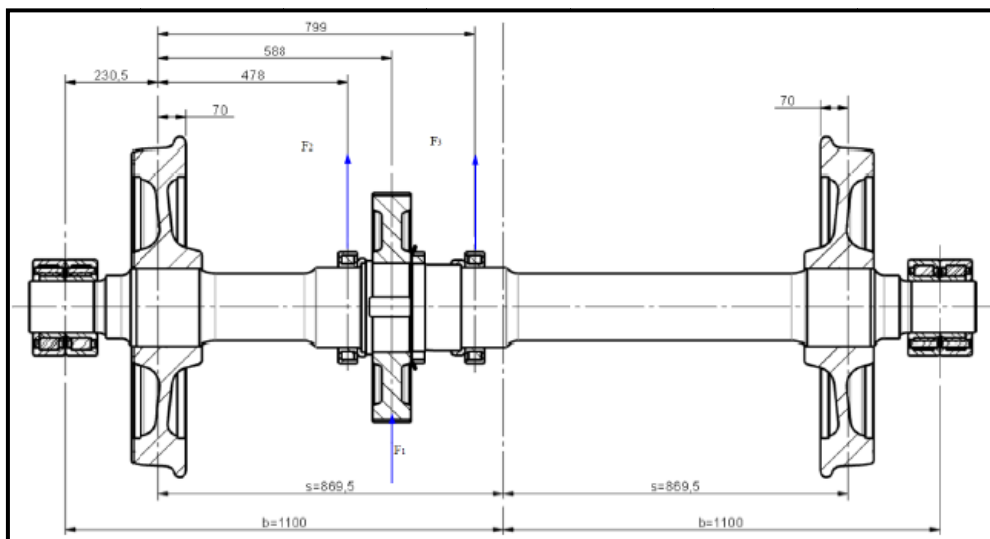


Figura 4.41. Geometría del eje motor de la dresina

Una vez conocida la geometría del eje, se definen las fuerzas externas que actúan sobre él. El estado de cargas elegido someterá al eje a las condiciones más desfavorables, distribución asimétrica de las fuerzas, recurriendo al caso definido al inicio del capítulo en la figura 4.37.

Antes de comenzar con los diferentes cálculos, se agrupan los valores iniciales de los conceptos conocidos:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 115 \text{ Kg} & y_1 &= 588 \text{ mm} \\
 F_2 &= 200 \text{ Kg} & y_2 &= 478 \text{ mm} \\
 F_3 &= 200 \text{ Kg} & y_3 &= 799 \text{ mm} \\
 m_1 &= 10.935 \text{ Kg} & h_1 &= 600 \text{ mm} \\
 m_2 &= 565 \text{ Kg} & s &= 1.739 / 2 = 869,5 \text{ mm} \\
 R &= 400 \text{ mm} & b &= 2.200 / 2 = 1.100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Los valores a los que se refieren estos conceptos están descritos en la tabla 4.2. Para las fuerzas ejercidas por las masas de los elementos no suspendidos, se tiene que F_1 es el peso de la corona, F_2 y F_3 la mitad del peso total del reductor (repartido en los dos rodamientos), siendo y_1 , y_2 e y_3 las posiciones donde están aplicadas dichas fuerzas.

4.3.3.2. Efectos debidos a masas en movimiento

La fase inicial para el diseño de un eje es el cálculo de los valores de las fuerzas que actúan. Para calcular estos valores, se utilizan las fórmulas expuestas en la tabla 4.3 aplicando los datos iniciales conocidos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 7.356,3 \text{ Kg} & H &= 1.913,6 \text{ Kg} \\
 P_2 &= 6.312,5 \text{ Kg} & Q_1 &= 7.605,2 \text{ Kg} \\
 Y_1 &= 3.827 \text{ Kg} & Q_2 &= 5.548,8 \text{ Kg} \\
 Y_2 &= 1.913,6 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Con estos valores se pueden calcular los momentos debidos a las masas en movimiento en todas las secciones del eje. El resultado para los valores de los momentos en las diferentes secciones es:

$$\begin{aligned}
 M_{xa} &= 16.634.041 \text{ N}\cdot\text{mm} = 16,63 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 M_{xb} &= 31.652.170 \text{ N}\cdot\text{mm} = 31,65 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 M_{xc} &= 21.782.870 \text{ N}\cdot\text{mm} = 21,78 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm} \\
 M_{xd} &= 14.273.805 \text{ N}\cdot\text{mm} = 14,27 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

Los valores resultantes muestran que para cada sección del eje se obtiene un momento distinto, la figura 4.42 deja ver el esquema general de las variaciones de M_x .

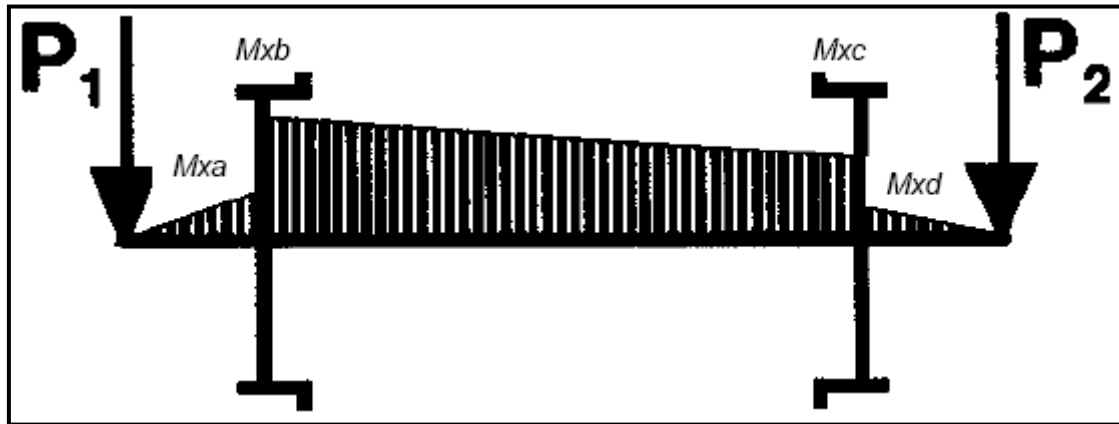


Figura 4.42. Esquema general de las variaciones de M_x

4.3.3.3. Efectos debidos al frenado

El freno utilizado por la dresina diseñada está formado por zapatas de fricción en los dos lados de cada rueda. Para el cálculo, se considera el caso de $\Gamma = 0,30$, al sustituir este valor en las fórmulas de la tabla 4.5, se obtienen los siguientes resultados:

- Entre los planos de rodadura, para el cálculo de M'_y se ha considerado $P' = 1,2 \cdot P$, asumiendo que en el momento de frenado se carga más el eje delantero según el sentido de la marcha:

$$M'_x = 610.525 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_z = 4.070.169 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_y = 15.447.218 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- En las diferentes secciones entre el rodamiento y la rueda los esfuerzos debidos al frenado serán:

$$M'_{x1} = 211.896 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_{x2} = 267.519 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_{x3} = 370.023 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_{z1} = 1.412.640 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_{z2} = 1.783.458 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_{z3} = 2.466.823 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_{y1} = 0 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_{x2} = 0 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M'_{x3} = 0 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

4.3.3.4. Efectos debidos a la tracción

Los efectos debidos a la tracción serán despreciados porque son menores que los de frenado, y nunca se producirán simultáneamente a estos.



4.3.3.5. Diámetros de cálculo

En este apartado, se calcula el valor del diámetro del cuerpo del eje, en función del material y de los esfuerzos a los que está sometido. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32KM_R}{\pi\sigma_{mat}}}$$

Para el cálculo del diámetro se elige la sección con mayores esfuerzos, que en este caso será la sección 4, cuyos esfuerzos resultantes son:

$$M_{X4} = M_{xb} + M'_x = (31.652.170 + 610.525) \text{ N}\cdot\text{mm} = 32,26 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y4} = M'_y = 15.447.218 \text{ N}\cdot\text{mm} = 15,45 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z4} = M'_z = 4.070.169 \text{ N}\cdot\text{mm} = 4,07 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos se calcula el momento resultante:

$$M_{R4} = 36.000.893 \text{ N}\cdot\text{mm} = 36,00 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Como resistencia de material se considera la del material EA1N que es de 133 N/mm^2 , para el cuerpo del eje.

Sustituyendo en la ecuación:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32KM_{R4}}{\pi\sigma_{mat}}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 1,0 * 36,00 * 10^6}{\pi * 1,33}} = 140,22 \text{ mm}$$

Con estos resultados, se escoge un diámetro de partida de 170 mm en el cuerpo del eje, lo que por condiciones geométricas de la norma implica un diámetro de 195 mm en la zona de calado, 130 mm en las manguetas y de 160 mm en el obturador. Será con estos valores de diámetros con los que se calculan los esfuerzos resultantes en las diferentes secciones.



Lo primero será calcular el momento resultante en estas secciones, teniendo en cuenta el factor de concentración de esfuerzos K:

$$M_R = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2 + M_Z^2}$$

4.3.3.6.1. Esfuerzos sección 1, salida del rodamiento

A la salida del rodamiento se tienen unos esfuerzos menores que a la salida de la mangueta, además al tratarse de una zona cilíndrica, el factor de concentración de tensiones, K , es 1.

Siendo la anchura del rodamiento de 160 mm los momentos que se darán a la salida del mismo (80 mm) serán:

$$M_{X1} = M_{x1} + M'_{x1} = (5.773.203 + 211.896) \text{ N}\cdot\text{mm} = 5,99 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y1} = M'_{y1} = 0 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z1} = M'_{z1} = 1.412.640 \text{ N}\cdot\text{mm} = 1,41 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R1} = 6.149.550 \text{ N}\cdot\text{mm} = 6,15 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Por lo tanto el esfuerzo máximo, en esta sección, será:

$$\sigma_1 = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 * 1,00 * 6,15 * 10^6}{\pi * 130^3} = 28,51 \text{ N/mm}^2 < 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

4.3.3.6.2. Esfuerzos sección 2, mangueta

Para calcular los esfuerzos en el cambio de sección entre la mangueta y el obturador, se tienen en cuenta los siguientes momentos:

$$M_{X2} = M_{x2} + M'_{x2} = (7.288.669 + 267.519) \text{ N}\cdot\text{mm} = 7,56 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y2} = M'_{y2} = 0 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z2} = M'_{z2} = 1.783.458 \text{ N}\cdot\text{mm} = 1,78 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R2} = 7.763.806 \text{ N}\cdot\text{mm} = 7,76 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Por lo tanto el esfuerzo máximo, en esta sección, será:

$$\sigma_2 = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 * 1,01992 * 7,76 * 10^6}{\pi * 130^3} = 36,71 \text{ N/mm}^2 < 133 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Valor inferior al esfuerzo máximo considerado para el material EA1N de 133 N/mm², como se puede ver en la tabla 4.6.

El valor de K , se ha calculado a partir de:

- $d = 130$ mm, diámetro mangueta.
- $D = 160$ mm, diámetro zona obturador.
- $r = 40$ mm, radio de acuerdo.

4.3.3.6.3. Esfuerzos sección 3, obturador

Para el cálculo de los esfuerzos en esta sección, se tiene en cuenta que los esfuerzos máximos se dan en la cara exterior de la rueda, plano situado a 194 mm del apoyo del rodamiento, siendo los esfuerzos resultantes:

$$M_{X3} = M_{xa} + M'_x = (16.634.041 + 370.023) \text{ N}\cdot\text{mm} = 17,00 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y3} = M'_y = 0 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z3} = M'_z = 2.466.823 \text{ N}\cdot\text{mm} = 2,47 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R3} = 17.182.066 \text{ N}\cdot\text{mm} = 17,18 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Por lo tanto el esfuerzo máximo, en esta sección, será:

$$\sigma_s = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 * 1,2145 * 17,18 * 10^6}{\pi * 160^3} = 51,89 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 133 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Valor inferior al esfuerzo máximo considerado para el material EA1N de 133 N/mm², como se puede ver en la tabla 4.6.

El valor de K , se ha calculado a partir de:

- $d = 160$ mm, diámetro cuerpo del eje.
- $D = 280$ mm, diámetro exterior cubo de rueda.
- $r = 25$ mm, radio de acuerdo.

4.3.3.6.4. Esfuerzos sección 4, zona calado de las ruedas

El cálculo de los esfuerzos en esta sección hace referencia a los esfuerzos máximos considerados entre las dos ruedas, siendo los esfuerzos resultantes:

$$M_{X4} = M_{xb} + M'_x = (31.652.170 + 610.525) \text{ N}\cdot\text{mm} = 32,26 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y4} = M'_y = 15.447.218 \text{ N}\cdot\text{mm} = 15,45 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z4} = M'_z = 4.070.169 \text{ N}\cdot\text{mm} = 4,07 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R4} = 36.000.893 \text{ N}\cdot\text{mm} = 36,00 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Esta zona al ser cilíndrica, el valor del factor de concentración de tensiones, K , es 1, por lo tanto el esfuerzo máximo, en esta sección, será:

$$\sigma_4 = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 1,00 \cdot 36 \cdot 10^6}{\pi \cdot 195^3} = 49,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Valor inferior al esfuerzo máximo considerado para el material EA1N de 80 N/mm², como se puede ver en la tabla 4.6.

4.3.3.6.5. Esfuerzos sección 5, cuerpo del eje

Para el cálculo de estos esfuerzos se cogerán los valores máximos de los momentos en la cara interior de las ruedas, obteniendo un momento resultante de:

$$M_{X5} = M_{xb} + M'_x = (31.652.170 + 610.525) \text{ N}\cdot\text{mm} = 32,26 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y5} = M'_y = 15.447.218 \text{ N}\cdot\text{mm} = 15,45 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z5} = M'_z = 4.070.169 \text{ N}\cdot\text{mm} = 4,07 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R5} = 36.000.893 \text{ N}\cdot\text{mm} = 36,00 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Por lo tanto el esfuerzo máximo, en esta sección, será:

$$\sigma_5 = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 1,0217 \cdot 36 \cdot 10^6}{\pi \cdot 170^3} = 76,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 133 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Valor inferior al esfuerzo máximo considerado para el material EA1N de 133 N/mm², como se puede ver en la tabla 4.6.



El valor de K , se calcula a partir del gráfico de las acanaladuras:

- $d = 170$ mm, diámetro fondo acanaladura.
- $D = 280$ mm, diámetro exterior cubo de rueda.
- $r = 75$ mm, radio de acuerdo.

4.3.3.6.6. Esfuerzos sección 6, zona calado de las ruedas para el límite de desgaste de ejes

En el caso de reutilización del eje, para un cambio de ruedas, por ejemplo, el diámetro mínimo de uso sería 1,12 veces el diámetro del cuerpo del eje, es decir, 190 mm.

Para el cálculo de los esfuerzos en esta sección, se tienen en cuenta los esfuerzos máximos considerados entre las dos ruedas, siendo los esfuerzos resultantes:

$$M_{X6} = M_{xb} + M'_x = (31.652.170 + 610.525) \text{ N}\cdot\text{mm} = 32,26 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y6} = M'_y = 15.447.218 \text{ N}\cdot\text{mm} = 15,45 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z6} = M'_z = 4.070.169 \text{ N}\cdot\text{mm} = 4,07 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R6} = 36.000.893 \text{ N}\cdot\text{mm} = 36,00 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

En esta zona al ser cilíndrica, el factor de concentración de tensiones, K , es 1, por lo tanto el esfuerzo máximo, en esta sección, será:

$$\sigma_6 = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 1,00 \cdot 36 \cdot 10^6}{\pi \cdot 195^3} = 49,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Valor inferior al esfuerzo máximo considerado para el material EA1N de 80 N/mm^2 , como se puede ver en la tabla 4.6.

4.3.3.6.7. Esfuerzos sección 7, zona rodamiento 1 reductor

Para el cálculo de los esfuerzos, se tienen en cuenta los esfuerzos que se dan en la sección 7, siendo los esfuerzos resultantes:

$$M_{X7} = M_{x7} + M'_x = (30.379.153 + 610.525) \text{ N}\cdot\text{mm} = 30,99 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y7} = M'_y = 15.447.218 \text{ N}\cdot\text{mm} = 15,45 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z7} = M'_z = 4.070.169 \text{ N}\cdot\text{mm} = 4,07 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$



A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R7} = 34.864.638 \text{ N}\cdot\text{mm} = 34,86 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Por lo tanto el esfuerzo máximo, en esta sección, será:

$$\sigma_7 = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 * 1,26019 * 34,86 * 10^6}{\pi * 200^3} = 55,94 \text{ N/mm}^2 < 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Valor inferior al esfuerzo máximo considerado para el material EA1N de 80 N/mm², como se puede ver en la tabla 4.6.

El valor de K , se calcula a partir de:

- $d = 200 \text{ mm}$, diámetro interior rodamiento.
- $D = 220 \text{ mm}$, diámetro Interior corona dentada.
- $r = 4,5 \text{ mm}$, radio de acuerdo.

4.3.3.6.8. Esfuerzos sección 8, zona de calado de corona

Para el cálculo de los esfuerzos en la sección 8, se toma el diámetro mínimo (198 mm) del fondo del chavetero. Los momentos, en el plano medio de la corona dentada, resultantes serán:

$$M_{x8} = M_{x8} + M'_x = (30.210.421 + 610.525) \text{ N}\cdot\text{mm} = 32,26 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{y8} = M'_y = 15.447.218 \text{ N}\cdot\text{mm} = 15,45 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{z8} = M'_z = 4.070.169 \text{ N}\cdot\text{mm} = 4,07 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R8} = 34.714.746 \text{ N}\cdot\text{mm} = 34,71 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Por lo tanto el esfuerzo máximo, en esta sección, será:

$$\sigma_8 = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 * 1,00 * 34,71 * 10^6}{\pi * 198^3} = 45,55 \text{ N/mm}^2 < 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Valor inferior al esfuerzo máximo considerado para el material EA1N de 80 N/mm², como se puede ver en la tabla 4.6.

El valor de K , se considera igual a 1, ya que es una parte cilíndrica.



4.3.3.6.9. Esfuerzos sección 9, zona rodamiento 2 reductor

Para el cálculo de los esfuerzos, se cogerán los valores máximos de los momentos en la zona del rodamiento número 2, siendo los esfuerzos resultantes:

$$M_{X9} = M_{X9} + M'_x = (29.783.304 + 610.525) \text{ N}\cdot\text{mm} = 30,29 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Y9} = M'_y = 15.447.218 \text{ N}\cdot\text{mm} = 15,45 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{Z9} = M'_z = 4.070.169 \text{ N}\cdot\text{mm} = 4,07 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

A partir de los resultados obtenidos, se calcula el momento resultante:

$$M_{R9} = 34.336.099 \text{ N}\cdot\text{mm} = 34,34 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

El esfuerzo máximo en esta sección será:

$$\sigma_9 = \frac{32KM_R}{\pi d^3} = \frac{32 * 1,25679 * 34,34 * 10^6}{\pi * 200^3} = 54,94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Valor inferior al esfuerzo máximo considerado para el material EA1N de 80 N/mm², como se puede ver en la tabla 4.6.

El valor de K, se calcula a partir de:

- d = 200 mm, diámetro interior rodamiento.
- D = 213 mm, diámetro Interior corona dentada.
- r = 2 mm, radio de acuerdo.

4.3.4. PLANOS DE DISEÑO

En las figuras 4.44, 4.45 y 4.46 se detallan los planos del eje diseñado:

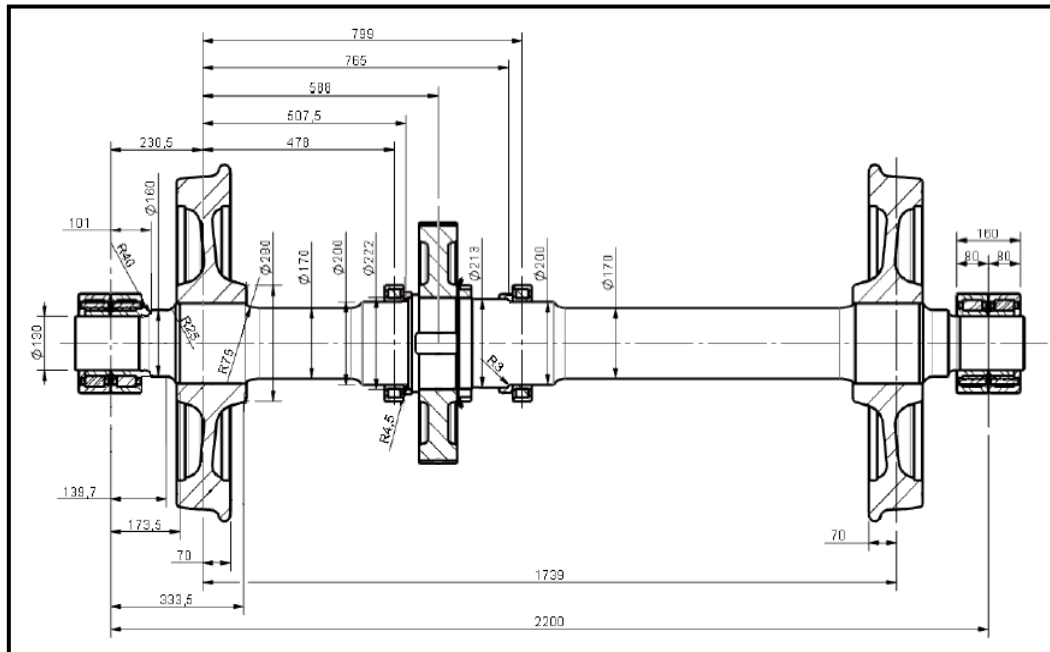


Figura 4.44. Plano de detalle sección eje

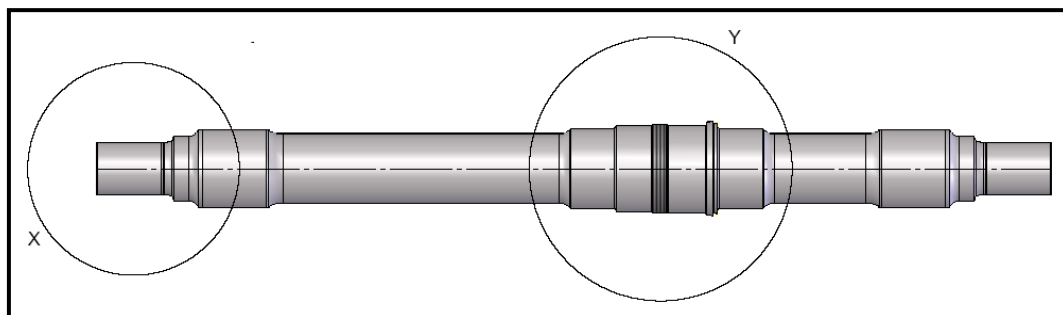


Figura 4.45. Vista lateral eje

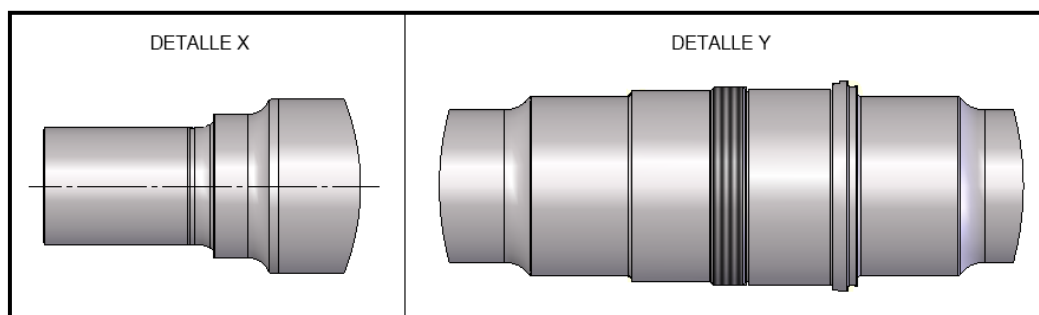


Figura 4.46. Detalles vista eje

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

5.1. CONCLUSIONES

Este Proyecto Fin de Carrera ha consistido en la aplicación de una metodología de cálculo para el diseño de diferentes componentes de una dresina ferroviaria de nueva generación destinada al control y mantenimiento de vía y catenaria.

En este proyecto, se ha optado por estudiar tres componentes de una dresina de diferentes características (bastidor, rueda y eje motor), obteniendo las siguientes principales conclusiones:

- Una vez observados los esfuerzos máximos que soportan los tres componentes ferroviarios, para los diferentes estados de carga, se puede asegurar que los modelos de diseño obtenidos resisten los esfuerzos a los que se verán sometidos a lo largo de su vida útil.
- Gracias a los cálculos realizados, se conocen las uniones más solicitadas en cada uno de los componentes.



- Los requisitos de seguridad, marcados por la Unión Internacional de Ferrocarriles, se cumplen para las diferentes hipótesis de carga.
- Cada uno de los componentes está sometido a unos estados de carga particulares marcados por las Normas vigentes.

5.2. FUTUROS DESARROLLOS

Debido al fuerte desarrollo que está experimentando el transporte ferroviario, hace que el estudio e investigación de las diversas aplicaciones en el diseño de componentes adquieran una gran importancia dentro del mundo de la industria y de la automoción.

En este proyecto se ha aplicado una metodología de cálculo en el diseño de tres componentes (bastidor, rueda y eje motor) de una dresina de nueva generación. Los futuros desarrollos que ofrece este Proyecto de Fin de Carrera son los siguientes:

- La realización de un estudio más avanzado del presente proyecto, analizando el comportamiento de los componentes diseñados en laboratorio.
- Estudio del correcto montaje del conjunto de componentes, así como del posterior análisis de este.
- Realizar un estudio sobre la posible adaptación de nuevos materiales en el diseño de componentes estructurales de vehículos ferroviarios.
- Simulación por ordenador (realidad virtual) del comportamiento de los componentes diseñados bajo las condiciones de trabajo, en un entorno virtual.

CAPÍTULO 6

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Departamento de Comunicación MAQUIVÍAS S.A. *"Informe Anual 2010. Informe de Actividades por Líneas de Negocio"*. 2011
- [2] Infraestructuras y Estaciones Adif.
www.adif.es/es_ES/infraestructuras/infraestructuras.shtml (Noviembre 2011)
- [3] LÓPEZ PITA, A. *"Infraestructuras ferroviarias"*. Ediciones UPC, 2006
- [4] Departamento Técnico MAQUIVÍAS S.A. *"Manual de Uso y Conducción. Modelo Dresina MQ-DHC11-TMB-1674"*. 2011
- [5] ÁLVAREZ MÁNTARAS, D. y LUQUE RODRÍGUEZ, P. *"Ingeniería e Infraestructura de los Transportes. Ferrocarriles"*. Universidad de Oviedo, 2003
- [6] Procedimiento Técnico de Ejecución, MAQUIVÍAS, S.A. *"Montaje de dresina hidráulica de catenaria"*. PTE-AIS-MAQ-26 Rev.0, 2010
- [7] Norma UNE-EN 14033-2:2008 *"Aplicaciones ferroviarias. Vía. Máquinas para la construcción y el mantenimiento que se desplazan exclusivamente sobre carriles. Parte 2: Requisitos técnicos para el trabajo"*. CTN: AEN / CTN 25 –APLICACIONES FERROVIARIAS

- [8] Norma UNE-EN 13979-1:2006 *"Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ruedas monobloque. Procedimiento de aprobación técnica. Parte 1: Ruedas forjadas y laminadas"*. CTN: AEN / CTN 25 –APLICACIONES FERROVIARIAS
- [9] Norma EN 13104:2009 *"Railway applications - Wheelsets and bogies - Powered axles - Design method"*. CTN: AEN / CTN 25 –APLICACIONES FERROVIARIAS
- [10] Norma UNE-EN 13103:2010 *"Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes portadores. Método de diseño"*. CTN: AEN / CTN 25 –APLICACIONES FERROVIARIAS
- [11] Norma UNE-EN 13261:2009 *"Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Ejes. Requisitos de producto"*. CTN: AEN / CTN 25 –APLICACIONES FERROVIARIAS